

**UNIVERSIDADE FEDERAL DE SANTA CATARINA
CENTRO DE FILOSOFIA E CIÊNCIAS HUMANAS
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM GEOGRAFIA**

Camila de Souza Cardoso

**A INFLUÊNCIA DOS CICLONES EXTRATROPICAIS NAS
MESORREGIÕES SERRANA E DO LESTE CATARINENSE**

Florianópolis

2011

Camila de Souza Cardoso

**A INFLUÊNCIA DOS CICLONES EXTRATROPICAIS NAS
MESORREGIÕES SERRANA E DO LESTE CATARINENSE**

Dissertação submetida(a) ao Programa
de Pós-Graduação em Geografia da
Universidade Federal de Santa
Catarina para a obtenção do Grau de
Mestre em Geografia.

Orientador: Prof^a. Dr^a. Magaly
Mendonça

Florianópolis

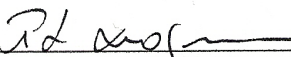
2011

Camila de Souza Cardoso

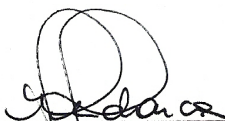
A INFLUÊNCIA DOS CICLONES EXTRATROPICAIS NAS MESORREGIÕES SERRANA E DO LESTE CATARINENSE

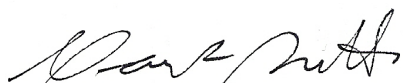
Esta Dissertação foi julgada adequada para obtenção do Título de “Mestre em Geografia”, e aprovada em sua forma final pelo Programa de Pós-Graduação em Geografia.

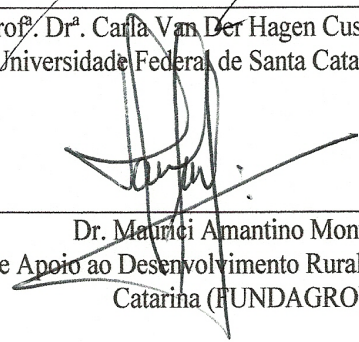
Florianópolis, 07 de julho 2011.



Prof.^a. Dr.^a. Ruth Emilia Nogueira
Coordenadora do PPGG/UFSC

Banca Examinadora:


Prof.^a. Dr.^a. Magaly Mendonça - Orientadora
Universidade Federal de Santa Catarina (UFSC)


Prof.^a. Dr.^a. Carla Van Der Hagen Custodio Bonetti
Universidade Federal de Santa Catarina (UFSC)


Dr. Maurício Amantino Monteiro
Fundação de Apoio ao Desenvolvimento Rural e Sustentável de Santa Catarina (FUNDAGRO)


Dr. Daniel Pires Bitencourt
Fundação Jorge Duprat Figueiredo de Segurança e Medicina do Trabalho (FUNDACENTRO)

Ao meu marido Daniel Calero, pelo seu amor, carinho e paciência. A minha mãe e meu padrasto, pelo incentivo e confiança.

AGRADECIMENTOS

Primeiramente agradeço a Deus e aos meus mentores espirituais que me deram luz, força e sabedoria nos momentos difíceis e incompreensíveis.

Agradeço minha mãe Marlen Farias e meu padastro Renato Farias, que acreditaram em meu potencial e não me deixaram desistir de meus sonhos; a eles sou eternamente grata.

Agradeço ao meu marido Daniel Calearo pelos momentos incansáveis de dedicação, carinho e compreensão que foram fundamentais para que eu chegasse até a conclusão deste trabalho.

Agradeço a minhas irmãs Bruna Cardoso e Renata Farias pela amizade e amor que nos uni.

Agradeço à minha grande amiga Dr^a. Márcia Fuentes pelo apoio e incentivo que me deu, para eu ingressar no Programa de Pós Graduação em Geografia, e aos ensinamentos durante os dois anos que fomos professoras no curso Técnico de Meteorologia do IFSC.

Ao amigo e colega Dr. Daniel Bitencourt pela ajuda durante a execução este trabalho, e pela oportunidade de estar a cada dia aprendendo com este excelente profissional.

Ao amigo Dr. Maurici Monteiro pelas dicas, sugestões e palavras de incentivo durante desenvolvimento deste trabalho.

À minha orientadora Dr^a. Magaly Mendonça pela compreensão durante os momentos de ansiedade, pelas sugestões no encaminhamento deste trabalho e por sua dedicação e amizade.

Aos meus colegas de mestrado pelos bons momentos, e pelas trocas de experiências, em especial, a colega e amiga Kátia Spinelli.

À todos que direta ou indiretamente contribuíram para o fim desta jornada.

À EPAGRI/CIRAM pelos dados das estações meteorológicas, em especial a Sra. Vera Lúcia, pelo repasse dos dados sempre que solicitados. À Universidade de Melbourne, por conceder o esquema de identificação de ciclones. Ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico – CNPq (Projeto 471917/2008-7) e a Financiadora de Estudos e Projetos – FINEP (Projeto 01.09.0295.00) pelo suporte à pesquisa.

A banca examinadora deste trabalho pelas contribuições que aprimoraram os resultados aqui apresentados.

“Só se pode alcançar um grande êxito quando nos mantemos fiéis a nós mesmo.”

(Friedrich Nietzsche)

RESUMO

O setor leste catarinense é caracterizado pela presença de terrenos elevados, representados por planaltos e sequência de serras costeiras subparalelas, cuja altitude superiores a 1000m decresce em direção ao oceano. Este setor está frequentemente submetido à atuação dos ciclones extratropicais, que geralmente ocasionam ventos fortes causando prejuízos as cidades litorâneas e proximidades. Este trabalho analisa a influência dos ciclones extratropicais nas mesorregiões Serrana e do Leste de Santa Catarina e suas relações com a Oscilação Decadal do Pacífico (ODP). Os ciclones extratropicais que atuaram nas proximidades do litoral de Santa Catarina, entre 1998 e 2008, foram levantados através de um esquema numérico identificação e rastreamento de ciclones. A influência destes sistemas no comportamento do vento e da precipitação foi avaliada através de cálculos de correlação entre a profundidade do ciclone e o vento e a precipitação observada em sete estações meteorológicas que estão distribuídas nas mesorregiões Serrana e do Leste de Santa Catarina. Os resultados mostraram estatisticamente que não há correlação da profundidade dos ciclones com a ocorrência de precipitação. Embora os ciclones influenciem a ocorrência de vento no setor leste de Santa Catarina, é necessário levar em consideração os efeitos locais em torno de cada estação meteorológica, como relevo, altitude e maritimidade. Quanto à relação da ocorrência de ciclones com a ODP verificou-se que durante a fase fria ocorreu um aumento de anomalias negativas de ciclones, e na segunda metade da fase quente um aumento de anomalias positivas. A análise de frequência de ocorrência mostrou que a primavera e verão são as estações com um máximo de ocorrência de ciclones extratropicais, embora exerçam pouca influência durante o verão em Santa Catarina.

Palavras-chave: Relevo do Leste de Santa Catarina. Comportamento do vento observado e da precipitação. Oscilação Decadal do Pacífico.

ABSTRACT

The East Sector of the Santa Catarina state is characterized by the presence of elevated terrain such as plateaus, and a sequence of sub-parallel coastal mountain ranges of altitudes above 1000m, which decrease towards the ocean. This sector is often under extratropical cyclones which usually bring high winds and material damage to coastal cities and their proximities. This paper analyzes the influence of extratropical cyclones in the eastern and mountain range mesoregions in the Santa Catarina state, and its relation to the Pacific Decadal Oscillation (PDO). Extratropical cyclones acting in the area of coastal Santa Catarina state between 1998 and 2008 were gathered through a numeric system of cyclone identification and tracking. The influence of such weather systems in the behaviors of wind and precipitation was evaluated through correlation calculations between cyclone depth and wind and precipitation observed in seven weather stations located throughout the mountain range and eastern mesoregions in the Santa Catarina state. Results show statistically that there is no correlation between cyclone depth and precipitation events. Although cyclones do influence wind events in the East sector of the state, local effects in the vicinity of each weather station such as terrain, altitude, and maritime climate, must also be taken into consideration. As regards to the relation between event occurrence and the DPO, it was possible to observe that during the cool phase the number of negative-cyclone anomalies increased, whereas in the second stage of the warm phase the number of positive anomalies increased. The occurrence frequency analysis has shown that the spring and summer seasons have a peak of extratropical cyclone occurrences, albeit having little influence over the state of Santa Catarina during the summer.

Keywords: Santa Catarina state terrain. Observed wind and precipitation behavior. Pacific Decadal Oscillation.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1: Imagem do Satélite GOES 12, canal infravermelho, do dia 11 de agosto de 2005, às 11:39 UTC.....	30
Figura 2: Localização da área de estudo e estações meteorológicas.	34
Figura 3: Precipitação total anual para o estado de Santa Catarina.....	39
Figura 4: Temperatura média anual para o estado de Santa Catarina....	40
Figura 5: Figura esquemática representando os centros de ação da América do Sul.	45
Figura 6: Esquema típico de formação de nebulosidade convectiva para banda latitudinal. (a) banda entre as latitudes 35°S e 25°S, estendendo-se desde o Rio da Prata até a região de Curitiba, (b) banda entre as latitudes 25°S e 20°S, estende-se desde a região de Curitiba até a altura de Cabo Frio (RJ).	49
Figura 7: Campos médios de pressão ao nível do mar (hPa) e de vento a 10 metros de altura (m/s), para passagens frontais em meses de (a) inverno e (b) verão.	51
Figura 8: Condições meteorológicas de superfície. São indicados em cada mapa os cavados (pontilhado), frentes, centros de alta (H) e baixa (L) pressão para as (a) 00 UTC do dia 24 de junho de 1994, (b) 00 UTC do dia 25 de junho de 1994, (c) 00 UTC do dia 26 de junho de 1994 e (d) 00 UTC do dia 27 de junho de 1994.....	52
Figura 9: Representação do deslocamento do JBN à leste da Cordilheira dos Andes. O tubo branco mostra o caminho percorrido pelo jato, desde a Amazônia até a Bacia da Prata.	55
Figura 10: Modelo conceitual de um ciclone no Hemisfério Norte, elaborado por Bjerknes em 1919.....	59
Figura 11: Estágios de desenvolvimento de um ciclone extratropical de acordo com a Teoria da Frente Polar.....	60
Figura 12: Distribuição anual da frequência de ciclogêneses na América do Sul.	63
Figura 13: Densidade de ciclones no Verão (esquerda) e Inverno (direita) para um período de 7 anos (190-1986), obtidos das reanálises do ECMWF.	64
Figura 14: Área de identificação dos ciclones através do esquema automático.	67
Figura 15: Área de identificação dos ciclones para análise da variabilidade.	73
Figura 16: Área de identificação dos ciclones por faixas latitudinais. ..	74

Figura 17: Média (\square), mediana (— no interior da caixa), desvio padrão acima e abaixo da média (caixa), percentis de 1 % (\times inferior) e 99 % (\times superior) e valores mínimo (\perp) e máximo (\top) do vento observado (V_{obs}) na série histórica para as estações meteorológicas como uma função do 1º, 2º, 3º e 4º quartil da profundidade do ciclone D (hPa).....	82
Figura 18: Média (\square), mediana (— no interior da caixa), desvio padrão acima e abaixo da média (caixa), percentis de 1 % (\times inferior) e 99 % (\times superior) e valores mínimo (\perp) e máximo (\top) do vento observado (V_{obs}) no verão para as estações meteorológicas como uma função do 1º, 2º, 3º e 4º quartil da profundidade do ciclone D (hPa).	86
Figura 19: Média (\square), mediana (— no interior da caixa), desvio padrão acima e abaixo da média (caixa), percentis de 1 % (\times inferior) e 99 % (\times superior) e valores mínimo (\perp) e máximo (\top) do vento observado (V_{obs}) no outono para as estações meteorológicas como uma função do 1º, 2º, 3º e 4º quartil da profundidade do ciclone D (hPa).....	87
Figura 20: Média (\square), mediana (— no interior da caixa), desvio padrão acima e abaixo da média (caixa), percentis de 1 % (\times inferior) e 99 % (\times superior) e valores mínimo (\perp) e máximo (\top) do vento observado (V_{obs}) no inverno para as estações meteorológicas como uma função do 1º, 2º, 3º e 4º quartil da profundidade do ciclone D (hPa).....	89
Figura 21: Média (\square), mediana (— no interior da caixa), desvio padrão acima e abaixo da média (caixa), percentis de 1 % (\times inferior) e 99 % (\times superior) e valores mínimo (\perp) e máximo (\top) do vento observado (V_{obs}) na primavera para as estações meteorológicas como uma função do 1º, 2º, 3º e 4º quartil da profundidade do ciclone D (hPa).....	91
Figura 22: Série Temporal do índice da Oscilação do Pacífico (ODP) para o período de 1957 a 2009.	94
Figura 23: Anomalia de ocorrência de ciclones na área AT (barras em azul) e índice de Oscilação Decadal do Pacífico (linha contínua vermelha). A linha pontilhada amarela representa a linha de tendência de ocorrência de ciclones.	97
Figura 24: Anomalia de ocorrência de ciclones na área A1 (barras em azul) e índice de Oscilação Decadal do Pacífico (linha contínua vermelha). A linha pontilhada amarela representa a linha de tendência de ocorrência de ciclones.	98
Figura 25: Anomalia de ocorrência de ciclones na área A2 (barras em azul) e índice de Oscilação Decadal do Pacífico (linha contínua vermelha). A linha pontilhada amarela representa a linha de tendência de ocorrência de ciclones.	98
Figura 26: Anomalia de ocorrência de ciclones na área A3 (barras em azul) e índice de Oscilação Decadal do Pacífico (linha contínua	

vermelha). A linha pontilha amarela representa a linha de tendência de ocorrência de ciclones.	99
Figura 27: Anomalia de ocorrência de ciclones na área A4 (barras em azul) e índice de Oscilação Decadal do Pacífico (linha contínua vermelha). A linha pontilha amarela representa a linha de tendência de ocorrência de ciclones.	99
Figura 28: Anomalia de ocorrência de ciclones na área A5 (barras em azul) e índice de Oscilação Decadal do Pacífico (linha contínua vermelha). A linha pontilha amarela representa a linha de tendência de ocorrência de ciclones.	100
Figura 29: Anomalia de ocorrência de ciclones na área AT para o verão (barras em azul) e índice de Oscilação Decadal do Pacífico (linha contínua vermelha). A linha pontilha amarela representa a linha de tendência de ocorrência de ciclones.	100
Figura 30: Anomalia de ocorrência de ciclones na área AT para o primavera (barras em azul) e índice de Oscilação Decadal do Pacífico (linha contínua vermelha). A linha pontilha amarela representa a linha de tendência de ocorrência de ciclones.	101
Figura 31: Anomalia de ocorrência de ciclones na área AT para o outono (barras em azul) e índice de Oscilação Decadal do Pacífico (linha contínua vermelha). A linha pontilha amarela representa a linha de tendência de ocorrência de ciclones.	101
Figura 32: Anomalia de ocorrência de ciclones na área AT para o inverno (barras em azul) e índice de Oscilação Decadal do Pacífico (linha contínua vermelha). A linha pontilha amarela representa a linha de tendência de ocorrência de ciclones.	102

LISTA DE TABELAS

Tabela 1: Estações Meteorológicas Convencionais, conforme sua localização e coordenadas geográficas.....	68
Tabela 2: Correlação entre a profundidade (D) do ciclone e a precipitação acumulada (P_{ac}) para cada estação meteorológica	79
Tabela 3: Correlação entre a profundidade (D) do ciclone e o vento observado (V_{obs}) para cada estação meteorológica.....	79
Tabela 4: Correlação (r) entre a profundidade (D) do ciclone e o vento observado (V_{obs}), conforme a estação do ano.	79
Tabela 5: Análise de variância para série histórica.	83
Tabela 6: Teste a posterior de Tukey para comparação das médias do V_{obs} entre os quartis da D	84
Tabela 7: Análise de variância para os casos de verão.....	85
Tabela 8: Teste a posterior de Tukey para comparação das médias entre os quartis da D na estação meteorológica de São Joaquim.	86
Tabela 9: Análise de variância para os casos de outono.....	88
Tabela 10: Teste a posterior de Tukey para comparação das médias do V_{obs} entre os quartis da D no outono.....	88
Tabela 11: Análise de variância para os casos de inverno.....	90
Tabela 12: Teste a posterior de Tukey para comparação das médias do V_{obs} entre os quartis da D no inverno.....	90
Tabela 13: Análise de variância para os casos de primavera.....	92
Tabela 14: Teste a posterior de Tukey para comparação das médias do V_{obs} entre os quartis da D no primavera.....	93
Tabela 15: Número anual de ciclones em cada área.....	95
Tabela 16: Número de ocorrência de ciclones na A_T conforme a estação do ano.	96

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

ANOVA – Análise de Variância
ASAS – Anticiclone Semifixo do Atlântico Sul
CCM – Complexo Convectivo de Mesoescala
CIRAM – Centro de Informações e Recursos Ambientais e de Hidrometeorologia de Santa Catarina
CJP – Corrente de Jato Polar
CJS – Corrente de Jato Subtropical
 D – Profundidade do ciclone
E – Leste
ENOS – El Niño Oscilação Sul
EPAGRI – Empresa de Pesquisa Agropecuária e Extensão Rural
F – Teste F
GOES – Geostationary Operational Environmental Satellites
HS – Hemisfério Sul
IBGE – Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística
JBN – Jato de Baixos Níveis
JTS – Jato Subtropical
 m_{Ec} – Massa de ar Equatorial Continental
 m_{Pa} – Massa de ar Polar Atlântica
 m_{Ta} – Massa de ar Tropical Atlântica
 m_{Tc} – Massa de ar Tropical Continental
MQD – Média dos quadrados dos erros
N – Norte
NCAR - National Centers for Atmospheric Research
NCEP - National Centers for Environmental Prediction
NDN – Nível de divergência nula
NE – Nordeste
ODP – Oscilação Decadal do Pacífico
 P_{ac} – Precipitação acumulada
 r – Coeficiente de correlação de Pearson
 r_1 – Número de pares de médias amostrais
S – Sul
s/n – Sem número
SC – Santa Catarina
SCM – Sistema Convectivo de Mesoescala
SW – Sudoeste
T – Critério de Tukey
UTC – Tempo Universal Coordenado

VCAN – Vórtice Ciclônico de Altos níveis

V_{obs} – Vento observado

W – Oeste

ZCAS – Zona de Convergência do Atlântico Sul

LISTA DE SÍMBOLOS E UNIDADES

ζ_g – Vorticidade Relativa Geostrófica

% – porcentual

$\nabla^2 p$ – Laplaciano da pressão

< – Menor que

> – Maior que

\leq – Menor ou igual

\geq – Maior ou igual

hPa – HectoPascoal

km – Quilômetro

km/h – Quilômetro por hora

Km² – Quilômetro quadrado

m – Metro

mm – Milímetros

° – Grau

°C – Grau Celsius

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	29
1.1 OBJETIVO GERAL.....	31
1.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS	31
2 LOCALIZAÇÃO E CARACTERIZAÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO	33
2.1 RELEVO DE SANTA CATARINA – ASPECTOS GERAIS	33
2.1.1 Mesorregião Norte Catarinense	35
2.1.2 Mesorregião Vale do Itajaí	36
2.1.3 Mesorregião Grande Florianópolis.....	37
2.1.4 Mesorregião Serrana.....	37
2.1.5 Mesorregião Sul Catarinense	38
2.2 CLIMA DE SANTA CATARINA - ASPECTOS GERAIS	39
3 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA.....	41
3.1 O ESTUDO DA CLIMATOLOGIA DINÂMICA.....	41
3.2 PRINCIPAIS SISTEMAS METEOROLÓGICOS ATUANTES NA REGIÃO SUL	47
4 CONTEXTUALIZAÇÃO DE CICLONES EXTRATROPICAIS	59
4.1 CLIMATOLOGIA DE CICLONES EXTRATROPICAIS	62
5 PROCEDIMENTOS TEÓRICO-METODOLÓGICOS	67
5.1 DADOS.....	68
5.2 ESQUEMA NUMÉRICO DE IDENTIFICAÇÃO E RASTREAMENTO DE CICLONES.....	69
5.3 AVALIAÇÃO ESTATÍSTICA	70
5.4 VARIABILIDADE DOS CICLONES EXTRATROPICAIS	72
6 RESULTADOS E DISCUSSÕES	75
6.1 COMPORTAMENTO DA PRECIPITAÇÃO ACUMULADA	75
6.2 COMPORTAMENTO DO VENTO OBSERVADO	76
6.2.1 Análise da série história	80
6.2.2 Análise Sazonal.....	85
CONCLUSÕES	103
REFERÊNCIAS.....	105
Apêndice A – Dados dos ciclones X Precipitação Acumulada.....	115
Apêndice B – Dados dos ciclones X Vento Observado	117
Apêndice C – Saídas do esquema de identificação de ciclones	119
Apêndice D – Resumo estatísticos da série histórica	121
Apêndice E – Análise de variância para série histórica	123
Apêndice F – Resumo estatísticos dos casos de verão	125
Apêndice G – Análise de variância para os casos de verão	127

Apêndice H – Resumo estatísticos dos casos de outono.	129
Apêndice I – Análise de variância para os casos de outono	131
Apêndice J – Resumo estatísticos dos casos de inverno.....	133
Apêndice K – Análise de variância para os casos de inverno	135
Apêndice L – Resumo estatísticos dos casos de primavera.	137
Apêndice M – Análise de variância para os casos de primavera	139

1 INTRODUÇÃO

O estado de Santa Catarina apresenta de leste para oeste três grandes unidades topográficas: as Planícies Costeiras, as Serras Litorâneas e o Planalto Ocidental. As Planícies Costeiras estão em contato direto com o oceano Atlântico, as Serras ficam dispostas obliquamente à linha de costa e o Planalto constitui a unidade mais continental e extensa do território catarinense (ROSA E HERRMANN, 1986).

O ciclone extratropical é um dos mais importantes sistemas meteorológicos que atuam no sul do Brasil e região oceânica adjacente. Esse sistema afeta as condições de tempo nas regiões por onde passa, na maioria das vezes pela formação de nuvens, precipitação, ventos fortes, mudanças de temperatura e agitação marítima. Forma-se em regiões onde o escoamento médio da atmosfera favorece seu crescimento, destacando-se por sua frequência de atuação o ano inteiro (GAN E RAO, 1991; PEZZA, 2003; REBOITA, 2008).

Pesquisas sobre a climatologia dos ciclones no Hemisfério Sul são realizadas desde meados do século passado, através de análises visuais dos campos de pressão (VAN LONN, 1965), até os tempos de hoje, por meio de esquemas automáticos de identificação de ciclones em dados numéricos (SIMMONDS e KEAY, 2000). Esses esquemas automáticos, que identificam os ciclones através dos campos de pressão, vorticidade e/ou laplaciano da pressão ao nível médio do mar, tem sido largamente utilizados nas últimas décadas (SIMMONDS e MURRAY, 1999; SIMMONDS e KEAY, 2000 a, b).

Entre os vários sistemas meteorológicos que podem ocasionar condições de tempo severo, o setor leste da Região Sul do Brasil é fortemente influenciado pela atuação de ciclones extratropicais, e os impactos sócio-econômicos gerados estão associados à ocorrência de precipitação, ventos fortes e agitação marítima. Em agosto de 2005, a atuação de um ciclone extratropical (Figura 1) causou prejuízos de R\$ 3.000.000,00 na pesca e R\$ 6.000.000,00 na maricultura, somente no estado de Santa Catarina (EPAGRI/CIRAM). Segundo os dados das estações meteorológicas monitoradas pela EPAGRI/CIRAM (Empresa de Pesquisa Agropecuária e Extensão Rural de Santa Catarina / Centro de Informações de Recursos Ambientais e de Hidrometeorologia de Santa Catarina), na Grande Florianópolis os ventos atingiram as velocidades máximas de 139 km/h na Ilha do Arvoredo, 110 km/h no município de São José e 70 km/h no aeroporto Hercílio Luz em Florianópolis. Os acumulados de chuva em 24 horas registrados em

Urussanga no Sul Catarinense foram de 118 mm, e na Grande Florianópolis, o município de Florianópolis registrou 90,1 mm e o município de Governador Celso Ramos 108,6mm, em 24 horas.

Dentro deste contexto, o presente trabalho busca avaliar as influências dos ciclones extratropicais na ocorrência de vento e precipitação nas mesorregiões do leste catarinense e Serrana.

O estudo está organizado da seguinte forma: o **capítulo 2** apresenta a caracterização da área de estudo, abordando as principais características do relevo em cada mesorregião estudada, bem como os aspectos do clima de Santa Catarina (SC). No **capítulo 3** é feita uma revisão bibliográfica dos principais estudos de climatologia dinâmica, tendo como foco a análise rítmica e os principais centros de ação atuantes na América do Sul. Por seguinte, no mesmo capítulo, aborda-se os principais sistemas meteorológicos atuantes na Região Sul do Brasil. A contextualização dos ciclones extratropicais é realizada no **capítulo 4**, através de uma revisão bibliográfica das teorias de desenvolvimento e dos principais estudos de climatologia de ciclones extratropicais para a América do Sul.

Os materiais e métodos utilizados neste estudo são explicados no **capítulo 5**. O **capítulo 6** apresenta os resultados e as discussões do tema, e na sequência as conclusões deste trabalho.

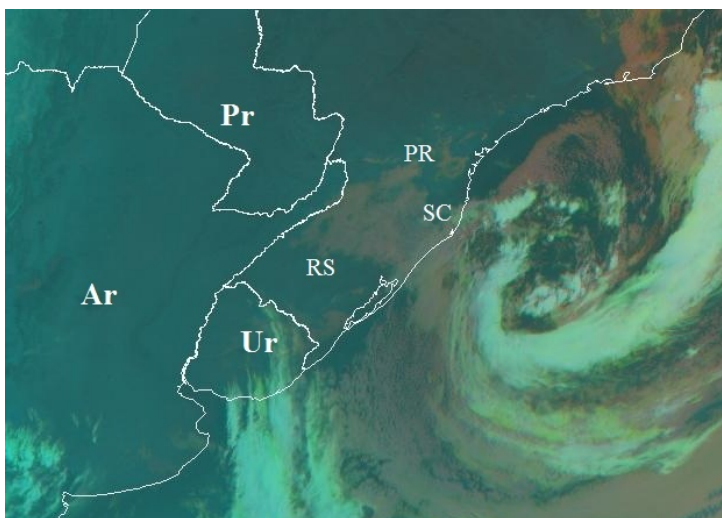


Figura 1: Imagem do Satélite GOES 12, canal infravermelho, do dia 11 de agosto de 2005, às 11:39 UTC.

1.1 OBJETIVO GERAL

Analisar a influência dos ciclones extratropicais no Atlântico Sul com ênfase nas mesorregiões Serrana e do Leste catarinense.

1.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Levantar a série histórica dos ciclones extratropicais através do esquema numérico de identificação automática de ciclones;
- Identificar a influência dos ciclones levantados nos elementos precipitação e vento;
- Classificar os ciclones extratropicais em função de sua intensidade e impactos em elementos meteorológicos (vento e precipitação);
- Avaliar a variabilidade da frequência de ocorrência dos ciclones na Região Sul e oceano Atlântico adjacente;

2 LOCALIZAÇÃO E CARACTERIZAÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO

O estado de Santa Catarina faz parte da região Sul do Brasil juntamente com os Estados do Paraná e Rio Grande do Sul, situado entre os paralelos 25°57'41" e 29°23'55" de latitude Sul e entre os meridianos 48°19'37" e 53°50'00" de longitude Oeste.

Conforme a divisão elaborada pelo Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE), no estado de Santa Catarina existe seis mesorregiões, sendo elas a Grande Florianópolis, Norte Catarinense, Oeste Catarinense, Serrana, Sul Catarinense, Vale do Itajaí. Além de 20 microrregiões que estão distribuídas entre as mesorregiões Catarinenses (Figura 2).

A área de interesse neste estudo compreende as mesorregiões Norte Catarinense, Vale do Itajaí, Grande Florianópolis, Serrana e Sul Catarinense (Figura 2).

2.1 RELEVO DE SANTA CATARINA – ASPECTOS GERAIS

O estado de Santa Catarina apresenta de leste para oeste três grandes unidades topográficas: as Planícies Costeiras, as Serras Litorâneas e o Planalto Ocidental. Tem 77% de seu território acima de 300m de altitude, com os planaltos, entre 300 m e 900 m totalizando 56,22% e as serras, situadas acima de 900 m abrangendo 20,45% da área total (NIMER, 1979). A área costeira tem uma extensão de 461,4 km, que é vulnerável à atuação de ciclones extratropicais em toda sua costa, assim tornando os impactos, como vento e mar agitado, bem abrangente.

A Planície Costeira, com terrenos planos ou levemente ondulados, entre as cotas 0 e 200 m, apresenta largura variável. Na Mesorregião Norte, sua largura é de 26 km até a encosta da Serra do Mar. Na Mesorregião do Vale do Itajaí sua extensão aproximada é 85 km, sendo a menor, registrada na Grande Florianópolis, no sopé do morro do Cambirela, em frente à Ilha de Santa Catarina, onde não ultrapassa os 500 m. Na Mesorregião Sul Catarinense se alarga formando as grandes planícies do Rio Tubarão e do Rio Araranguá (ROSA E HERRMANN, 1986).

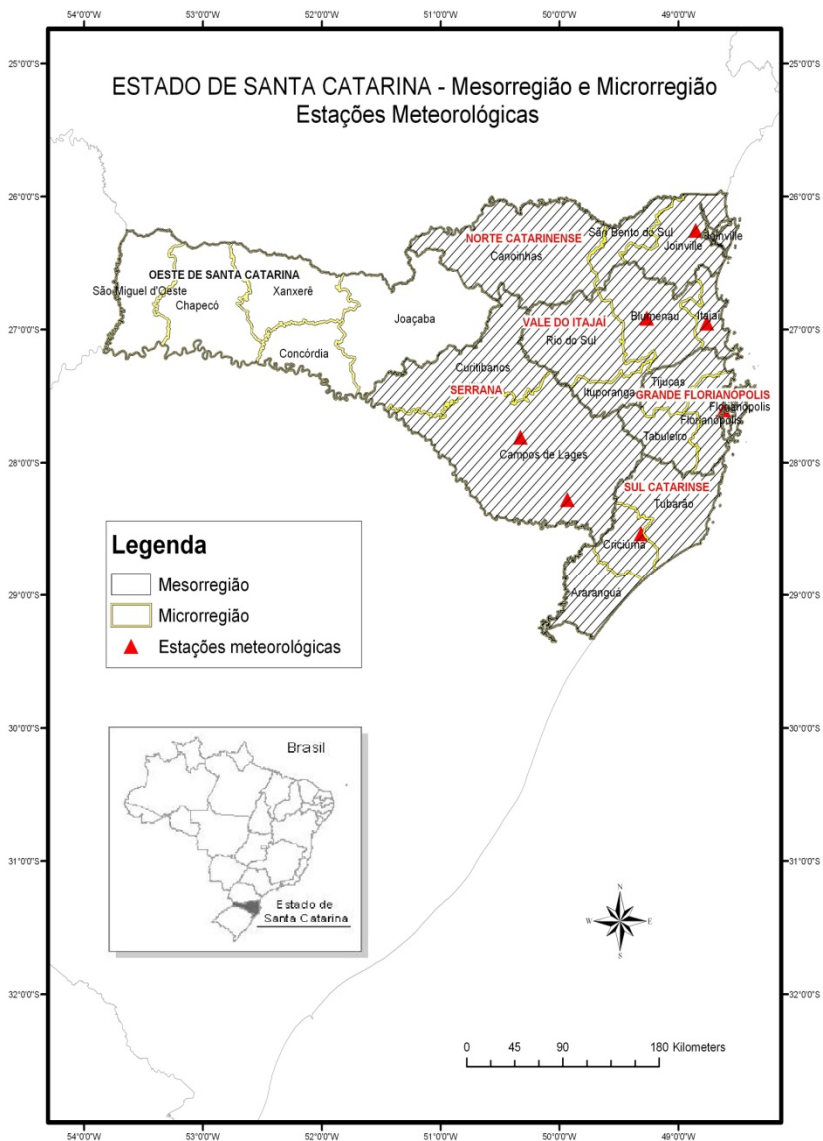


Figura 2: Localização da área de estudo e estações meteorológicas.
Elaborado por: Claudia Guimarães Camargo Campos.

As Serras Cristalinas estão dispostas obliquamente à linha de costa e ocorrem de Joinville à Laguna, quando inicia-se a grande planície do rio Tubarão. Alcançam em média 600 m, porém, encontram-se morros com mais de 800 m, como o Cambirela (1043 m) (ROSA E HERRMANN, 1986).

O Planalto Ocidental constitui a unidade mais extensa do território catarinense. No norte do estado, o planalto de Canoinhas, chega a atingir cotas acima dos 1000 m, sendo um prolongamento do planalto paranaense que é formado por rochas sedimentares da bacia do Paraná. Do rio Negrinho ao sul do rio Itapocu, se estende o Planalto Cristalino Atlântico que se encontra limitado pela Serra do Mar. No Alto Rio Itajaí, patamares extensos e relevos residuais de topo plano (mesas) são limitados por escarpas em degraus (borda de patamar estrutural). Os vales estruturais apresentam aprofundamento entre 212 m e 288 m. Há grandes variações altimétricas com cotas a sudeste de 1220 m e declive para oeste em torno de 700 m. Os rios maiores apresentam vale de fundo plano, limitado por encostas íngremes com cornija no topo e eventualmente com patamares. O Planalto de Lages, na periferia do planalto basáltico, possui uma topografia suavemente ondulada e profundamente dissecada, com altitudes que vão a mais de 1000 m. O planalto basáltico abrange a maior porção do Planalto Ocidental e sua borda escarpada, que apresenta desníveis acentuados de até 1000 m, recebe a denominação de serra Geral (ROSA E HERRMANN, 1986).

A influência do relevo, principalmente da altitude, pode ser constatada na formação dos climas diferenciados existente no estado, assim a umidade vinda do oceano vai diminuindo à medida que alcança o planalto, diminuindo as chuvas de circulação marítima; o trecho Araranguá-Laguna apresenta um dos menores índices pluviométricos anuais do estado, devido sua posição a sotavento das encostas da Serra Geral (MONTEIRO, 2001).

2.1.1 Mesorregião Norte Catarinense

A mesorregião Norte Catarinense localiza-se no norte do estado de Santa Catarina limitando-se ao norte com o estado do Paraná, ao sul com as mesorregiões Vale do Itajaí e Serrana e a leste com o Oceano Atlântico. Possui uma área de 15.937,767 km², composta por 26 municípios agrupados em três microrregiões, que são: Joinville, Canoinhas e São Bento do Sul (RAITZ, 2009).

A microrregião de Joinville está localizada no litoral norte de Santa Catarina e limita-se com as microrregiões geográficas de São

Bento do Sul, Blumenau, Itajaí, com o estado do Paraná e oceano Atlântico. O relevo é constituído por Planícies Costeiras, com a presença de praias arenosas, dunas, pontas, promontórios, enseadas e ilhas, destacando-se a Ilha de São Francisco, o sistema Lagunar da baía da Babitonga e o Cabo João Dias. A oeste surgem as unidades de relevo da Serra do Mar, Planalto São Bento do Sul e Patamar de Mafra, e a sudoeste as formações da Serra do leste Catarinense. A vegetação predominante é de Floresta Ombrófila densa (mata Atlântica), especialmente nas planícies e nas serras da costa catarinense. A oeste de Joinville e Corupá encontra-se áreas de Floresta Ombrófila Mista (mata Araucária). Pequenas faixas de tensão ecológica com atividades agrícolas são observadas ao norte de Jaraguá do Sul (SANTA CATARINA, 1991). A estação meteorológica, localizada em Joinville situa-se entre a Planície Costeira e a vertente atlântica da Serra do Mar, a mais íngreme, onde alguns picos atingem 1500 m. A profundidade dos vales determina grandes amplitudes altimétricas que alcançam 400 m em alguns pontos, fato ainda mais acentuado na vizinhança da área litorânea, onde os relevos colinosos (pré Serra do Mar) estão em cotas em torno de 70 m (ROSA E HERRMANN, 1986).

2.1.2 Mesorregião Vale do Itajaí

A mesorregião Vale do Itajaí localiza-se ao sul da microrregião Norte catarinense e ao norte das microrregiões Grande Florianópolis e Serrana. Possui uma área de 13.003,018 km², composta por 15 municípios agrupados em três microrregiões, que são: Rio do Sul, Blumenau e Itajaí (Raitz, 2009).

A Microrregião de Rio do Sul localiza-se na parte centro do estado, predominando as unidades de relevo dos Patamares do Alto do Rio Itajaí. Ao sul de Ibirama um pequeno trecho do relevo das Serras do Leste Catarinense, dispostas de forma subparalela, com altimetria declinando pra leste. As Planícies Fluviais ocorrem em alguns trechos dos Rios Itajaí do Oeste e Itajaí Açu e seus afluentes (SANTA CATARINA, 1991).

A Microrregião Blumenau, localiza-se a oeste da Microrregião de Itajaí, com predomínio das unidades de relevo das Serras do Leste Catarinense. As Planícies Fluviais surgem nos Médios Vales dos Rios Itajaí Mirim e Itajaí Açu (SANTA CATARINA, 1991). Há uma estação meteorológica no município de Indaial, situado no médio vale do Rio Itajaí Açu, na unidade geomorfológica Serras do Leste Catarinense, que

se dispõe de forma subparalela NE-SW, cuja altimetria diminui de 900 m a cotas inferiores a 100 m em direção ao litoral.

Na Microrregião Itajaí situada ao norte da Microrregião Florianópolis as Planícies Costeiras evidenciam ações e processos marinhos ecológicos que ocorrem no litoral de Piçarras a Navegantes e nos Vales dos Rios Itajaí Açú e Itajaí Mirim. As Serras do Leste Catarinense com baixa altimetria aparecem na ponta de Penha e no restante da Microrregião (SANTA CATARINA, 1991). No município de Itajaí, na foz dos rios está situada a estação meteorológica homônima, também selecionada para esta pesquisa.

2.1.3 Mesorregião Grande Florianópolis

A mesorregião Grande Florianópolis com uma área de aproximadamente 7041 km² possui 21 municípios distribuídos em três microrregiões: Tijucas, Florianópolis e Tabuleiro (RAITZ, 2009).

A microrregião de Florianópolis localiza-se na parte central do litoral catarinense sobre a unidade Serras do Leste Catarinense, com ocorrência de pontas e promontórios. As Planícies Costeiras ocorrem ao longo do litoral e nos baixos vales dos rios. Na ilha de Santa Catarina, as Serras do Leste Catarinense mostram-se no centro e sul (SANTA CATARINA, 1991). Nesta microrregião, contíguo a Florianópolis encontra-se o município de São José e a estação meteorológica também referência para este estudo. São José está entre a Ilha de Santa Catarina e o sopé da Serra do Tabuleiro.

A microrregião de Tabuleiro localiza-se no oeste da microrregião Florianópolis em uma região bastante montanhosa, em que ao leste aparece a unidade de relevo Serras do Leste Catarinense com a formação de vales estruturais. No noroeste da microrregião surge os Patamares do Alto Vale rio Itajaí e no sudoeste aparece uma pequena área da Depressão da Zona Carbonífera Catarinense e Serra Geral (SANTA CATARINA, 1991).

2.1.4 Mesorregião Serrana

A mesorregião Serrana é composta por duas microrregiões: Curitibanos e Campos de Lages.

A microrregião de Campos de Lages está localizada no Planalto Sul do Estado, que apresenta na sua metade norte, o relevo do Planalto de Lages, caracterizado como um degrau entre os Patamares do Alto Rio Itajaí e o Planalto dos Campos Gerais, apresentando relevo de formas

colinosas e morros testemunhos. A maior parte da unidade Planalto de Lages está em cotas altimétricas em torno de 850 m a 900 m. A estação meteorológica referência desta região situa-se no município de Lages, há aproximadamente 938 m de altitude. Em Bom Retiro, no Vale do rio João Paulo, e em Urubici, no vale do rio Canoas aparece a unidade Planícies Fluviais. No leste de Urubici, surge parte dos Patamares do Alto Rio Itajaí. Na metade sul da microrregião, destaca-se o Planalto Dissecado do Rio Iguaçu/Rio Uruguai, onde se salienta a Borda do Patamar Estrutural no contato com o relevo do Planalto de Lages. Aparece ainda o relevo do Planalto dos Campos Gerais que, em seu contato com o Planalto de Lages, resulta nos ressaltos e nas escarpas (SANTA CATARINA, 1991).

2.1.5 Mesorregião Sul Catarinense

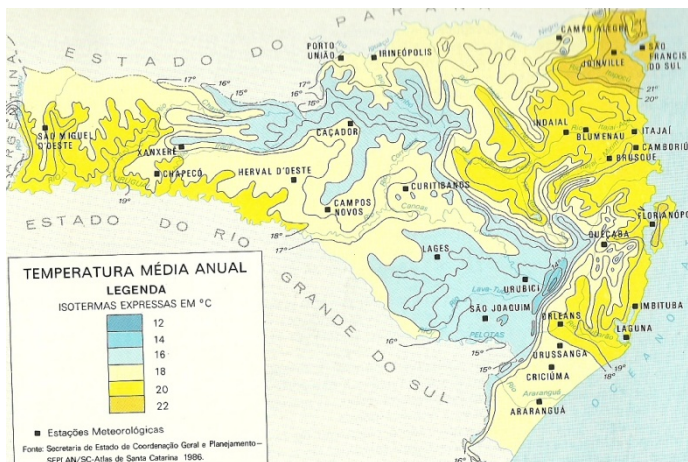
A mesorregião Sul Catarinense é formada por três microrregiões: Tubarão, Criciúma e Araranguá. Composta por 44 municípios numa área de 9.709,247 Km² (RAITZ, 2009), limita-se a leste com o Oceano Atlântico, a oeste com a mesorregião Serrana e ao norte com a mesorregião Grande Florianópolis.

O relevo do litoral ao sul das lagoas da microrregião de Tubarão caracteriza a unidade Planícies Costeiras de praias arenosas e dunas. As Planícies Fluviais ocorrem nos vales dos rios d'Una, Capivari, Aratingaúba e em alguns trechos dos rios Tubarão e Braço Norte. Na região Central, aparecem as Serras Leste Catarinense, com sua característica formação subparalela. O litoral apresenta várias praias, pontas, enseadas e ilhas. O maior destaque é o sistema Lagunar e no oeste da microrregião ocorrem as unidades de relevo da Zona Carbonífera Catarinense e Serra Geral (SANTA CATARINA, 1991).

Na microrregião geográfica de Criciúma, as Planícies Costeiras aparecem ao norte e sul; e as Planícies Fluviais surgem no baixo vale dos rios Araranguá e Mãe Luíza. Ao nordeste da microrregião ocorrem as Serras do Leste Catarinense e a Depressão da Zona Carbonífera ocorre ao oeste (SANTA CATARINA, 1991). A estação meteorológica de Urussanga, situada no município homônimo, está entre estas duas unidades geomorfológicas, há 48 m de altitude. A unidade Depressão da Zona Carbonífera apresenta aí relevo colinoso com vales encaixados e vertentes íngremes sujeitas a movimentos de massa.

Na microrregião de Araranguá predominam Planícies Costeiras, apresentando praias, dunas e lagoas. Destacam-se as Planícies Fluviais do rio Araranguá, Mampituba, Amola Faca e Manoel Alves. No oeste de

A figura 4 mostra a temperatura média anual para o estado de Santa Catarina. Observa-se que a região nordeste do estado apresenta temperatura média anual de 22 °C, enquanto que entre o litoral centro-norte e oeste a média anual é de 20 °C. No litoral centro-sul, Serras do Mar Geral e Oeste, as isotermas variam entre 19 °C e 18 °C.



3 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

3.1 O ESTUDO DA CLIMATOLOGIA DINÂMICA

A climatologia consiste de um modo geral, no estudo dos vários tipos de clima. Baseando-se na física geral e na Geografia, busca explicar e caracterizar tendências climáticas que ocorrem num determinado local ou região. Neste ponto de vista, a climatologia procura estudar o conjunto dos fenômenos meteorológicos, que ocorrem ao longo do tempo em um determinado lugar, possibilitando o conhecimento daqueles que têm influência decisiva em vários setores da sociedade, como, nas atividades humanas, sociais e industriais.

O regime climático do Brasil é bastante diversificado, em função de suas dimensões continentais, além da maior parte do seu território se situar numa faixa intertropical. Os elementos climáticos que mais preocupavam os povos indígenas eram a periodicidade das chuvas e os eventos extremos, como ventos fortes e trovoadas (SANT'ANNA NETO, 2004).

O climatólogo alemão Julius Hann (1839-1921), definiu a climatologia como “*o conjunto dos fenômenos meteorológicos que caracterizam o estágio médio da atmosfera em um ponto da superfície terrestre*”. Neste contexto, a climatologia investigaria os diversos elementos do clima como, temperatura, precipitação, umidade, vento e pressão, definindo as condições médias em uma dada região, associando os fatos observados e não os explicando. Os métodos utilizados por Hann são baseados em normais climatológicas, ou seja, média de um período de tempo (30 anos) dos elementos do clima. Para Nimer (1979), as normais climatológicas, pelo seu caráter estático mascaram os diversos tipos de tempo, diluindo-os nas médias.

O geógrafo francês Maximilien Sorre, conceituou o clima como sendo “*o ambiente atmosférico constituído pela série de estados da atmosfera sobre um lugar, em sua sucessão habitual*”, conceito esse que inspirou o pesquisador e professor da Faculdade Catarinense de Filosofia Carlos Augusto de Figueiredo Monteiro.

No avanço da climatologia dinâmica do Brasil, Carlos Augusto de Figueiredo Monteiro destaca-se por sua imensurável contribuição para a manutenção e evolução da climatologia geográfica, além de ser o precursor na ruptura da climatologia tradicional e clássica definida por Hann (1882).

Para Monteiro (1976, p.30) “a abordagem do clima é tratada como “ritmo”, ou seja, encadeamento sucessivo e contínuo dos estados

atmosféricos e suas articulações no sentido de retorno aos mesmos estados”. A utilização de cartas sinóticas de tempo e a necessidade de aperfeiçoamento da classificação de climas em termos regionais levaram Monteiro à técnica de “Análise rítmica”, que consiste na representação do ritmo climático através de gráficos, que são longas faixas de representação diária concomitante de todos os atributos atmosféricos mensuráveis sobre um lugar, acompanhados da informação sobre o sistema meteorológico (MONTEIRO, 1976).

A Climatologia Dinâmica está fortemente ligada a Meteorologia Dinâmica. As obras dos meteorologistas Adalberto Serra e Leandro Ratisbona buscam a compreensão da circulação atmosférica regional, através do método dinâmico, em que é feita uma análise do complexo atmosférico, através da atuação das massas de ar preocupando-se com os mecanismos frontogênicos que elas produzem.

[...] Para compreensão da circulação atmosférica regional, tratada conveniente segundo o método dinâmico, contamos com a obra do ilustre meteorologista brasileiro Adalberto Serra. (MONTEIRO, 1962, p.31)

Bergeron (s/n) define a climatologia dinâmica como o instrumento utilizado para explicar os fenômenos climáticos persistentes. Ela está interessada em analisar a persistência de sistemas meteorológicos, como por exemplo, os ciclones, analisando sua trajetória e sua distinção de uma região para outra, ou seja, diferente da meteorologia sinótica que se interessa pelos sistemas meteorológicos como fenômenos isolados, a climatologia dinâmica tem interesse e busca a compreensão da circulação atmosférica.

Cunha (2007) ressalta a importância da abordagem dinâmica do clima, já que ela nos leva ao conceito de ritmo que tem incluso a compressão do tempo e do clima, como encadeada sucessão de sistemas atmosféricos (tipos de tempo). Nimer (1979) enfatiza o papel do clima e sua importância:

[...] o que fica bem entendido é que o clima não é mais do que uma noção abstrata e que – qualquer que seja a definição retirada – a atmosfera terrestre é considerada um meio natural no qual nós devemos viver e nos adaptar e onde os seres vivos como qualquer matéria organizada sofrem sua ação. (NIMER, 1979, p.65)

A finalidade da análise do clima do ponto de vista geográfico é a explicação do fenômeno climático, que só pode ser compreendido através da circulação atmosférica regional. Esta é regida pelos centros de ação dinâmicos (centros de altas e baixas pressões), que embora distribuídos zonalmente na superfície do globo, e sob a ação de fatores geográficos, se definem na escala regional (MONTEIRO, 1962).

O clima de uma determinada região é formado por fatores estáticos como relevo, maritimidade, continentalidade, latitude, altitude, vegetação, etc. em interação com os fatores dinâmicos, que são os sistemas meteorológicos e a sucessão dos tipos de tempo constituintes da circulação atmosférica regional. Segundo Nimer (1979, p. 200-201) “o conhecimento dos fatores estáticos ou geográficos que atuam sobre o clima de determinada região, por mais completo que seja não é suficiente para compreensão do seu clima. Este não pode ser entendido e analisado sem o concurso do mecanismo atmosférico, seu fator genético por excelência”. Para Monteiro (1968, p.115-116) “[...] a preocupação de ordem genética será, em suma, a de caracterizar os tipos de tempo que, regulados pela circulação atmosférica regional e influenciados pelos fatores geográficos, se sucedem habitualmente na Região Sul”.

As condições geográficas da América do Sul, tais como a forma do relevo, favorece a participação regional dos principais centros de ação atmosféricos resultando na penetração e no encontro das principais massas de ar atuantes no Sul do Brasil.

A Região Sul do Brasil é o campo de ação das três principais massas de ar da vertente atlântica da América do Sul, guiado pelos sistemas de circulação do Hemisfério Sul e orientadas pelo relevo produzindo três grandes correntes de perturbação ou de grandes discontinuidades que atravessam a região (MONTEIRO, 1968).

Na América do Sul a atuação de centros de ação que podem ser positivos (anticiclones) ou negativos (depressões ou ciclones), constitui as fontes das principais massas de ar. Com uma área que abrange milhares de quilômetros quadrados, as regiões de formação das massas de ar são homogêneas quanto à suas propriedades termodinâmicas, ou seja, temperatura e umidade. Resultam das variações na intensidade do aquecimento que ocorre próximo à superfície, além da disponibilidade de água. Sua classificação é baseada nas diferenças de temperatura e umidade.

Os centros de ação positivos, ou centros de altas pressões, sobre o oceano Pacífico e Atlântico são denominados como *anticiclones permanentes e semifixos oceânicos* (Figura 5). São centros dinâmicos que atuam o ano inteiro, estando presentes no cinturão de altas pressões

subtropicais do Hemisfério Sul. Segundo Monteiro (1968, p.118) “os dois centros de divergência atmosférica constituem as fontes das principais massas de ar tropicais marítimas”. O anticiclone do Atlântico, também conhecido por Anticiclone Semifixo do Atlântico Sul (ASAS) atua de modo especial no Brasil devido ao giro anticiclônico do sistema que tende a avançar sobre o continente. O anticiclone do Pacífico é de natureza estacionária, e sua circulação é impedida de avançar sobre o continente devido à barreira orográfica imposta pela cordilheira do Andes.

Na circulação atmosférica da Região Sul do Brasil existe também a atuação do Anticiclone Migratório Polar (Figura 5), originado em latitudes subpolares, que ao invadir o continente sul-americano modifica as condições de tempo no Sul do Brasil. Monteiro (2007) descreve a trajetória do anticiclone polar na Região Sul do Brasil:

Quando a trajetória é mais continental, o anticiclone cruza os Andes ou se organiza entre as latitudes de 25° e 35°S, determinando ar seco no Sul do Brasil. A ausência de vapor d'água na atmosfera inibe a formação de nuvens e favorece a ocorrência de grande amplitude térmica o que resulta em temperaturas muito baixas na madrugada, com formação de geadas nas áreas mais altas, e em elevação no decorrer da manhã até aproximadamente às 14 horas quando ocorre a máxima do dia. Esse tipo de tempo dura em torno de 72 a 96 horas, quando então, o ASAS passa a influenciar as condições de tempo [...] Quando a trajetória do anticiclone polar é marítima, ou seja, quando se desloca sobre o Atlântico a leste do Uruguai e do Rio Grande do Sul provoca aumento de nuvens e favorece quase sempre a ocorrência de chuva isolada em toda a zona costeira da Região Sul devido a circulação marítima. Com ventos de sudeste a leste, o tempo fica mais instável com presença de muitas nuvens e chuvas mais freqüentes no leste do Rio Grande do Sul e zona costeira do sul catarinense, especialmente entre Porto Alegre e Laguna. (MONTEIRO, 2007, p.50-51).

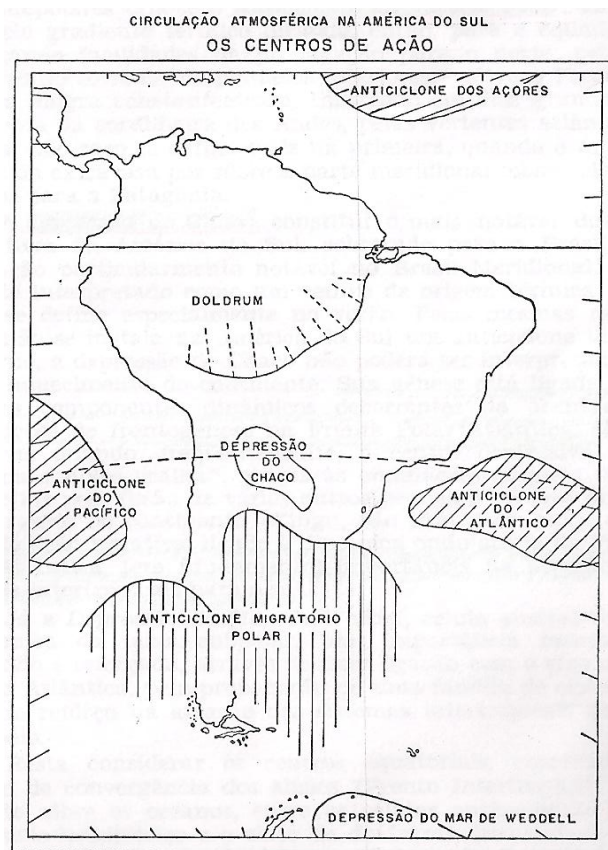


Figura 5: Figura esquemática representando os centros de ação da América do Sul.

Fonte: Monteiro, 1962.

A depressão do Chaco, centro de ação negativa, atualmente conhecida como “Baixa do Chaco” é o mais evidente dos centros negativos da América do Sul e com participação direta, especialmente no verão, no Sul do Brasil. Para Monteiro (1968, p.119) “sua gênese está ligada a importantes componentes dinâmicos decorrentes da acentuação das condições de frontogênese na Frente Polar Atlântica”. Outro fator dinâmico que está ligado à gênese da baixa segundo Nimer (1979, p.204) é “a fusão de várias linhas de depressão das baixas latitudes do interior do Brasil, se não entram na sua origem, certamente concorrem para seu fortalecimento”.

A definição do clima local não pode ser alcançada sem o prévio estudo da circulação atmosférica regional. A compreensão do clima tem dado ênfase aos mecanismos dinâmicos das massas de ar, que é de fundamental importância nas condições atmosféricas da Região Sul do Brasil. De acordo com Monteiro (1968) a Região Sul está sob a influência de três principais massas de ar da vertente atlântica:

- **Massa de ar Tropical Atlântica (mTa):** tem como centro de ação o Anticiclone Semifixo do Atlântico Sul (ASAS). Suas características termodinâmicas são geralmente de temperaturas elevadas e alta umidade. Esta massa de ar tem ação relevante no decorrer de todo ano no Sul do Brasil, com ventos de NE e E; seus efeitos variam conforme a época do ano. Possui tendência de estabilidade no tempo devido à subsidência superior do ar, especialmente no inverno, onde o resfriamento basal contribui para ocorrência de tempo estável. No verão, a mTa torna-se instável por baixo devido ao aquecimento sofrido pelo contato com o continente.

- **Massa de ar Polar Atlântica (mPa):** com maior participação no inverno apresenta influência significativa na circulação regional. Tem como centro de ação o Anticiclone Migratório Polar, tendo sua fonte de energia sobre o Atlântico, na região da Patagônia. É uma massa de ar fria e úmida, com participação significativa durante todo ano no Sul do Brasil, enquanto que nas demais regiões brasileiras, sua participação é mais expressiva no inverno. Seu deslocamento é mais potente quando avança de sul para norte, devido ao reforço e as facilidades a leste Cordilheira dos Andes.

- **Massa de ar Tropical Continental (mTc):** Tem participação bem menos notável na Região Sul do Brasil e está mais presente no verão. É uma massa de ar quente e seca, tendo como centro de ação a Baixa do Chaco.

- **Massa de ar Equatorial Continental (mEc):** Trata-se de uma massa de ar quente e com alta umidade que tem sua origem na planície amazônica. Durante o verão a Região Sul do Brasil recebe a influência desta massa de ar.

De acordo com Nimer (1979, p.19) o estudo das massas de ar são os princípios básicos da climatologia, entretanto, as análises das massas de ar devem aqui ser compreendidas no seu sentido mais amplo, abrangendo frentes, ciclones e anticiclones móveis, e demais fenômenos dinâmicos, ou seja, o estudo da circulação atmosférica.

3.2 PRINCIPAIS SISTEMAS METEOROLÓGICOS ATUANTES NA REGIÃO SUL

A Região Sul do Brasil, em especial os estados do Rio Grande do Sul e Santa Catarina, em função de sua localização geográfica, em latitudes médias, é afetada frequentemente por fenômenos de tempo severo como tempestades, vendavais, inundações e deslizamento de encostas, estiagens, ondas de calor, nevascas e geadas severas, além de ressacas e aumento na agitação marítima. Essa condição ocorre devido à frequência de atuação de frentes frias, ciclones extratropicais, vórtices ciclônicos e sistemas convectivos de mesoescala, os quais por serem rotineiros são tão importantes e perigosos (CARDOSO et. al, 2008).

A região está localizada ao sul do trópico de Capricórnio, em uma zona temperada, sendo influenciada pelo sistema de circulação perturbada de sul, constituído pelas frentes frias, principal responsável pelas chuvas, e pelo sistema de circulação de oeste, que são as linhas de instabilidade, que acarretam chuva intensa, por vezes granizo, com ventos fortes e rajadas de 60 a 90 km/h (NIMER, 1979; NERY, 2005).

A variabilidade dos sistemas atmosféricos no estado de Santa Catarina, bastante acentuada no decorrer do ano, proporciona um maior número de fenômenos associados a tempo severo tornando a região suscetível a ocorrência de eventos de desastres naturais. Conhecer a frequência e a sazonalidade de ocorrências dos sistemas meteorológicos torna-se importante, visto suas conseqüências nas condições climáticas de cada estação do ano no estado de Santa Catarina.

Quadro et. al (2006) estudaram os sistemas meteorológicos atuantes no ano de 2004, os quais foram responsáveis por desastres naturais ocorridos em Santa Catarina. Entre os mais frequentes e relacionados aos eventos ocorridos destacam-se os vórtices ciclônicos de altos níveis, sistemas frontais e ciclones extratropicais, associados a outros sistemas como jatos em altos e baixos níveis, complexos convectivos de mesoescala (CCM's) e massas de ar fria e seca.

As frentes frias são sistemas meteorológicos típicos de latitude médias, que atuam na Região Sul do Brasil durante o ano inteiro, sendo o principal sistema atmosférico responsável por mudanças nas condições de tempo na região. De acordo com Justi da Silva & Silva Dias (2002, p.2) “as penetrações frontais são responsáveis pela maior parte da precipitação que ocorre no norte da Argentina, no Uruguai, no Paraguai, na Bolívia, no sul do Peru e nas regiões sul, sudeste e central do Brasil”.

Estudos sobre a climatologia de sistemas frontais na Região Sul do Brasil são realizados desde meados da década de 80 com trabalhos de

Oliveira (1986), Lemos e Calbette (1996), Justi da Silva & Silva Dias (2002), Cavalcanti e Kousky (2003), Rodrigues (2003). Um aspecto marcante nesses trabalhos é que todos mostram que a frequência de frentes frias reduz conforme diminui a latitude, sendo suas passagens diretamente ligadas às mudanças nas condições de tempo.

Oliveira (1986) fez uma climatologia de sistemas frontais na América do Sul e sua interação com a convecção na Amazônia, no período de 1975 a 1984, utilizando imagens de satélite. Neste trabalho o autor explica que nos meses de convecção tropical uma faixa de nebulosidade convectiva associada ao sistema frontal se estende preferencialmente sobre a região Amazônica e o centro do país, ou seja, na direção noroeste-sudeste (Figura 6). Essa característica é mais frequente sobre o continente, principalmente de outubro a março, quando os sistemas frontais estão localizados entre 35°S e 25°S, e de novembro a março, com os sistemas frontais localizados entre 25°S e 20°S. Ainda foi observado que os sistemas frontais tendem a permanecer na Região Sul do Brasil, durante o inverno, por um maior número de dias consecutivos, quando a corrente de jato se torna mais intensa nessa latitude.

Lemos e Calbete (1996) utilizando os mesmos critérios adotados por Oliveira (1986), fizeram uma climatologia de frentes frias para o período entre 1987 e 1995, dando continuidade ao trabalho citado anteriormente, porém com o uso adicional de cartas sinóticas. Neste estudo os autores dividiram o litoral brasileiro em bandas de latitude: 35°S-25°S (banda B), 25°S-20°S (banda C) e ao norte de 20°S (banda D). Durante os meses de abril a dezembro o número de sistemas mensais que alcançam a banda B, ou seja, a Região Sul do Brasil, é superior ou igual a quatro. Enquanto que nas bandas C e D para a mesma época do ano, o número de sistema que atingiram as latitudes ficaram em média de dois a três mensais.

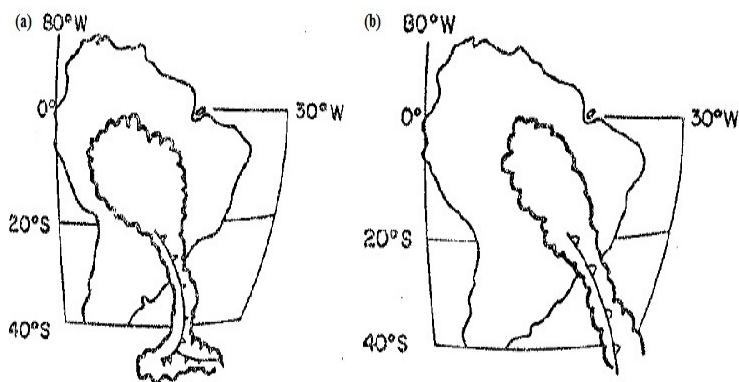


Figura 6: Esquema típico de formação de nebulosidade convectiva para banda latitudinal. (a) banda entre as latitudes 35°S e 25°S, estendendo-se desde o Rio da Prata até a região de Curitiba, (b) banda entre as latitudes 25°S e 20°S, estende-se desde a região de Curitiba até a altura de Cabo Frio (RJ).
Fonte: Adaptada de Oliveira (1986).

O critério adotado por Oliveira (1986) e Lemos e Calbete (1996) se difere dos demais em função do uso de imagens de satélite e cartas sinóticas, enquanto que os demais trabalhos citados utilizam dados da reanálise do NCEP/NCAR. No trabalho de Justi da Silva & Silva Dias (2002) foram usadas as reanálises do NCEP/NCAR para o período de 1981 a 1999 com objetivo de estabelecer uma climatologia da frequência de alguns dos fenômenos de tempo relevantes que ocorrem nas regiões subtropicais e extratropicais da América do Sul. Analisando a inversão no sinal da componente meridional do vento, ou seja, mudança de direção do quadrante Norte para o Sul, verificou-se que em termos de variabilidade interanual existe uma semelhança no número de vezes que a direção do vento muda de sinal quando foram agrupados os anos correspondentes a eventos do fenômeno El Niño Oscilação Sul (ENOS).

Para Cavalcanti e Kousky (2003), no período 1979-2000, a maior frequência de frentes frias na região Sul se concentrou nos meses de inverno, tendo como trajetória principal o litoral do Brasil e o interior do continente. Apesar de atuarem o ano inteiro na Região Sul do Brasil, a dinâmica das frentes frias difere conforme a estação do ano. Rodrigues (2003) realizou uma climatologia de frentes frias no litoral de Santa Catarina, no período de 1990 a 1999, encontrando uma frequência média

mensal de três a quatro frentes no estado, com um número ligeiramente maior na primavera e um intervalo médio de oito dias.

Segundo Lemos e Calbette (1996), durante o verão, as frentes frias ao ingressarem o Sul do Brasil associam-se com a Baixa do Chaco, tornando-se mais intensas e freqüentemente, ficam semi-estacionárias na Região Sudeste do Brasil, organizando a convecção tropical nas Regiões Central e Norte do Brasil e configurando a Zona de Convergência do Atlântico Sul (ZCAS).

Em geral, numa ocasião pré-frontal o vento varia de nordeste/noroeste; à medida que a frente fria se aproxima, há uma mudança no vento passando para sudoeste e posteriormente sudeste, conforme o deslocamento do anticiclone migratório polar na retaguarda do sistema.

Rodrigues (2003), ao descrever o comportamento do padrão de ventos associado à passagem de frentes frias no litoral de Santa Catarina, comenta que a freqüência média mensal não se difere muito durante o ano no litoral catarinense, porém a variabilidade sazonal em relação ao vento pós-frontal pode ser constatada. Segundo Rodrigues (2003, p.70) “em meses de inverno, um intenso fluxo de sudoeste é verificado nos dois dias seguintes a passagem frontal, em associação a ciclones que se intensificam no oceano” (Figura 7a). Nos meses de verão, os ventos de sudeste são típicos na situação pós-frontal, associado a sistemas de baixa pressão, que se configuram no litoral Sudeste do Brasil (Figura 7b).

No inverno, após a passagem frontal, intensos sistemas de alta pressão avançam na sua retaguarda em direção a norte/nordeste, ocasionando queda brusca nas temperaturas ao sul de 30°S e queda moderada na maior parte dos estados do Sul, Sudeste e Centro-oeste do Brasil. Os eventos de friagem são mais intensos ao Sul de 20°S e em regiões de grande altitude (SATYAMURTY et al ,1998).

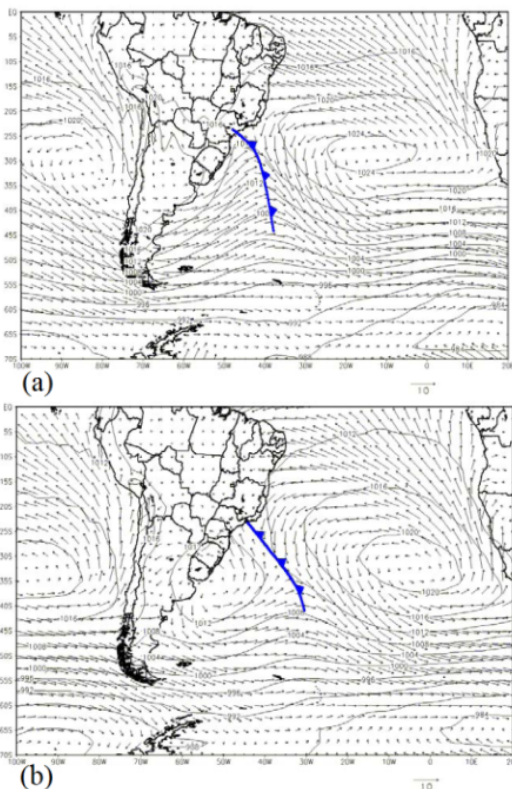


Figura 7: Campos médios de pressão ao nível do mar (hPa) e de vento a 10 metros de altura (m/s), para passagens frontais em meses de (a) inverno e (b) verão.

Fonte: Rodrigues (2003).

As mais intensas invasões frontais ocorrem no inverno, e trazem queda brusca nas temperaturas, sendo conhecidas como *friagens*, e descritas primeiramente por Serra e Ratisbona (1942). Marengo et al (1997) analisaram um intenso episódio de frio ocorrido em junho 1994, quando um anticiclone frio vindo do Pacífico leste entrou na América do Sul. Passando em seguida sobre os Andes e movendo-se em direção ao Equador à leste da cordilheira, alcançou latitudes entre 20°S e 30°S e posteriormente deslocou-se para o Atlântico (Figura 8). As temperaturas mínimas registradas no dia 26 de junho de 1994 ficaram próximas ou abaixo de zero em boa parte do país (MARENGO et al., 1997).

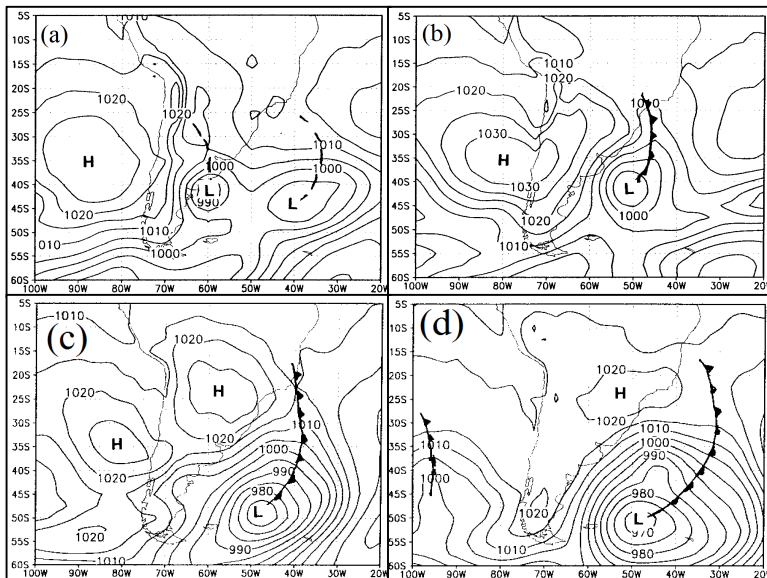


Figura 8: Condições meteorológicas de superfície. São indicados em cada mapa os cavados (pontilhado), frentes, centros de alta (H) e baixa (L) pressão para as (a) 00 UTC do dia 24 de junho de 1994, (b) 00 UTC do dia 25 de junho de 1994, (c) 00 UTC do dia 26 de junho de 1994 e (d) 00 UTC do dia 27 de junho de 1994.

Fonte: Adaptado de MARENGO et al. (1994)

Fuentes (2009) investigou a dinâmica e os padrões de circulação atmosférica associados a eventos de neve no Sul do Brasil. Sete padrões atmosféricos foram detectados na ocorrência de nevadas, destes, quatro estão associados a processos ciclogênicos, dois ao deslocamento continental do anticiclone móvel e um à presença de uma frente fria. A autora ressalta que eventos de neve ocorrem em ocasiões extremas de frio, sendo um fenômeno que ocorre em áreas mais elevadas da Região Sul do Brasil, e a maior frequência de ocorrência de nevadas é registrada nas mesorregiões do Nordeste do Rio Grande do Sul e Serrana de Santa Catarina.

Monteiro (1962) descreve a situação de passagens de frentes frias no Sul do Brasil da seguinte maneira:

As ondas de frio que percorrem a região no inverno, implicando em abaixamentos de temperatura que produzem comumente geadas e

mesmo precipitação nival, são precedidas por ondas de aquecimento pré-frontal e intercaladas com fases transicionais a estes extremos. Se associarmos este ritmo térmico com a ocorrência de precipitações notamos ainda o contraste entre o tempo bom e o seco da fase de domínio com a pluviosidade daqueles do avanço e prenúncio. (MONTEIRO, 1962, p.35)

O comportamento dos sistemas frontais depende da posição e intensidade dos sistemas de alta e baixa pressão em superfície, sendo essas características fundamentais para seu deslocamento (ANDRADE, 2005). Porém esse padrão atmosférico não depende apenas dos sistemas em superfície. O posicionamento e a intensidade da corrente de jato em altos níveis da atmosfera, além da trajetória, afeta também a intensidade do sistema frontal.

Segundo Cruz (2001, p.25) “no sul da América do Sul, as correntes de jato estão associadas a bloqueios, sistemas frontais e sistemas convectivos, estando mais persistentes e com maior influência no inverno quando os ventos de oeste estão mais intensos”.

Estudos realizados por Severo (1994) e Severo *et al.*(1994), mostram que dentre os sistemas meteorológicos causadores de chuvas intensas destaca-se em superfície os sistemas frontais, sendo este um agente no levantamento da massa de ar que se instabiliza. Em altos níveis da atmosfera a corrente de jato e os vórtices ciclônicos (VCAN) induzem o movimento vertical, sendo os responsáveis pela formação e desenvolvimento convectivo.

Existem dois tipos de correntes de jato localizados nos altos níveis da atmosfera, próximos a tropopausa. Uma corrente é denominada Corrente de Jato Polar (CJP). No Hemisfério Sul fica localizada geralmente entre as latitudes 35°S e 70°S, acima de 13 km de altura, originada pelo forte gradiente de temperatura existente entre o Equador e os Pólos. A Corrente de Jato Subtropical (CJS) que está localizada entre as latitudes de 20°S e 30°S, a uma altura de aproximadamente 13 km (~200 hPa), está associada à circulação da Célula de Hadley (PEZZI *et al.*, 1996; CRUZ, 2001).

A climatologia da corrente de jato sobre a América do Sul foi realizada por Pezzi *et al.*(1996) para o período 1985 e 1994. Foram calculados campos médios trimestrais de linhas de corrente em 200 hPa, nas latitudes de 15°S a 55°S e longitudes 15°W e 55°W, utilizando dados de reanálise do NCEP/NCAR. Os resultados das análises

sazonais, interanuais e climatológicas, observados pelos autores, mostraram que no trimestre de verão a CJS em média praticamente desaparece predominando a CJP. No trimestre de outono, a CJS apresenta-se bem configurada e em processo de intensificação. No trimestre de inverno a CJS atinge sua máxima intensidade, posicionada na faixa latitudinal de 25°S a 30°S, configurando-se zonalmente ou com uma pequena inclinação de noroeste para sudeste. No trimestre de primavera a CJS começa a perder sua intensidade e o escoamento apresenta uma configuração anticiclônica devido ao aparecimento da Alta da Bolívia.

Kousky e Cavalcanti (1984) ao analisar os altos índices pluviométricos ocorridos em 1983 concluíram que um jato subtropical bem pronunciado na América do Sul e leste do Pacífico Sul, juntamente com várias situações de bloqueios em latitudes médias, favoreceram a manutenção de sistemas frontais ativos no Sul do Brasil, os quais contribuíram para precipitação excessiva que ocorreu na região.

A corrente de jato tem papel fundamental na circulação geral da atmosfera; no verão, sua interação com os sistemas em superfície, auxilia no desenvolvimento e intensificação da atividade convectiva e por consequência no aumento da precipitação podendo originar fortes tempestades.

Monteiro (2007) descreve as condições de tempo observadas em Santa Catarina quando há influência da corrente de jato na região:

[...] ocorre paralelo à linha da frente fria, de direção noroeste-sudeste, em média cerca de 500 a 600 km na sua retaguarda. Nesse caso, uma frente fria pode estar sobre o Paraná e a nebulosidade não diminui em Santa Catarina, e, na maioria das vezes, a chuva continua. Existem alguns casos em que a frente fria passa por Santa Catarina sem atividade, com poucas nuvens e sem chuva. Horas depois, a nebulosidade aumenta e começa a chover sob influência do JTS. (MONTEIRO, 2007, p.85)

Outro importante sistema meteorológico, que atua em baixos níveis da atmosfera, transportando ar quente e úmido da Região Amazônica para a Região Sul e Sudeste do Brasil é o Jato de baixos níveis (JBN), sendo um dos principais transportadores de calor e umidade das latitudes tropicais para as extratropicais (BRAGA, 2006). De acordo com Santos (2006, p.35) “é um intenso escoamento de

norte/noroeste, ocorrendo a leste da Cordilheira dos Andes, o qual estende-se desde a Região Amazônica até a Bacia do Rio da Prata” (Figura 9).

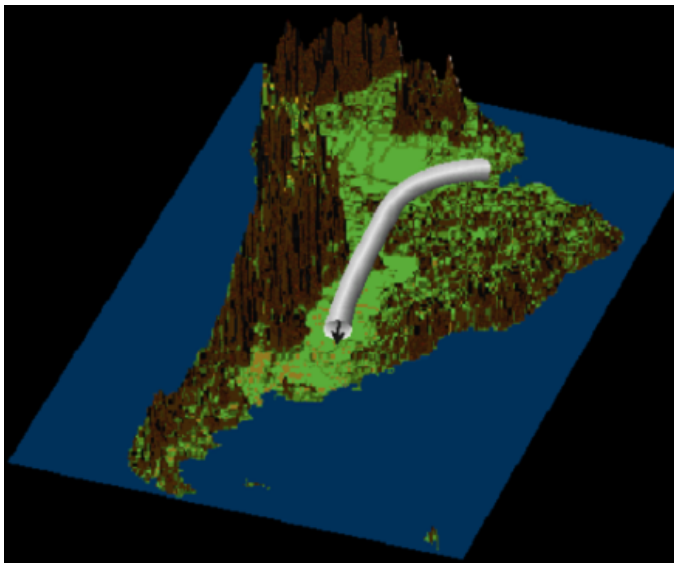


Figura 9: Representação do deslocamento do JBN à leste da Cordilheira dos Andes. O tubo branco mostra o caminho percorrido pelo jato, desde a Amazônia até a Bacia da Prata.

Fonte: CLIVAR (2005) *apud* SANTOS (2007).

Seluchi e Marengo (2000) mostraram que o transporte de umidade entre os trópicos e extratropicais é bastante intenso no Hemisfério Sul devido à presença da Cordilheira dos Andes. Esse transporte ocorre em duas regiões preferências: a primeira, nas latitudes tropicais entre 20°S e 30°S, próximo a cordilheira dos Andes, e a segunda associada ao estabelecimento das ZCAS.

Santos (2006) analisou a influência dos padrões sinóticos atuantes na América do Sul associados ao ciclo de vida do JBN a leste dos Andes. Neste estudo, a autora fez uma climatologia de JBN com o objetivo de verificar a frequência de ocorrência deste sistema no período entre janeiro de 1979 e dezembro de 2003. Durante o inverno observou-se mais casos de JBN ao sul de 20°S, e no verão ao norte 20°S. Além disso, a maioria dos casos de JBN foi observada na faixa latitudinal entre 20°S e 25°S, com um máximo de ocorrência em 25°S nos meses de inverno e outono.

Severo (1994) estudou os mecanismos dinâmicos relacionados com as chuvas intensas no Vale do Itajaí (SC), analisando as principais características sinóticas dos eventos que geram chuvas intensas no Vale, constatando que, dentre os diversos fatores analisados, o mais significativo é o fluxo de ar úmido em baixos níveis da atmosfera, que alimenta a convecção gerada por vórtices ciclônicos ou sistemas frontais que se aproximam da Região Sul.

O JBN, situado no leste do Andes, é a principal fonte de energia para manutenção dos sistemas atuantes na região Sul do Brasil (Figura 9). Quando tem seu fluxo de umidade de Norte, pode ser o responsável pela manutenção dos Sistemas Convectivos de Mesoescala (SCM) que atuam no Sul do Brasil, especialmente na primavera e verão.

Os SCM são importantes sistemas meteorológicos que freqüentemente são responsáveis por chuvas fortes e inundações, acompanhadas de forte atividade elétrica, por vezes granizo e ventos fortes. São aglomerados de nuvens convectivas, ou *cumulunimbus*, que podem adquirir forma aproximadamente linear e então chamada de Linha de Instabilidade, ou forma circular que são os conhecidos Complexos Convectivos de Mesoescala (CCM) (LIMA, 2004).

Em latitudes médias, a circulação atmosférica é caracterizada pelo escoamento zonal, de oeste para leste, que favorece o deslocamento e a manutenção de sistemas transientes como sistemas frontais, ciclones e anticiclones. Essa propagação é interrompida quando o estabelecimento de um anticiclone quase estacionário, localizado entre as latitudes de 60°N e 60°S, impede o deslocamento dos sistemas transientes para leste caracterizando uma situação de bloqueio atmosférico.

De acordo com Fuentes (1996) “Devido à natureza persistente, uma vez estabelecido um bloqueio, as condições de tempo associadas podem perdurar por vários dias [...]”. Monteiro (2007, p.94) relata em seu estudo que em situações de bloqueio, no estado de Santa Catarina, são observadas condições de tempo estável com poucas nuvens, temperaturas em elevação e baixa umidade no ar.

Mendes *et al* (2004) realizaram uma climatologia de bloqueios atmosféricos para o Atlântico Norte e Sul no período compreendido entre os anos de 1960 e 2000, com intuito de verificar quais as áreas na América do Sul que mais sofreram condições adversas devido à presença de bloqueios. No Atlântico Sul, a freqüência de dias bloqueados e número de episódios de bloqueios apresentaram uma variabilidade sazonal mais acentuada nos meses de inverno e início de primavera, com menor freqüência nos meses de verão. Outro aspecto

observado pelos autores é que em anos de El Niño o total de eventos de bloqueios e dias bloqueados é maior que em anos de La Niña. Quanto aos impactos analisados pelo autor, detectou-se que nos meses de inverno a Região Sul é mais afetada por este fenômeno, pois as temperaturas máximas e mínimas apresentaram anomalias negativas em relação à média climatológica da região. Já nos meses de verão, grande parte da Região Sul do Brasil e região da Patagônia, apresentaram anomalias negativas de precipitação e positivas de temperaturas máximas.

Os Vórtices Ciclônicos de Altos Níveis (VCAN) exercem grande influência nas condições de tempo na Região Sul do Brasil e geralmente estão associados a episódios de chuva intensa. São sistemas de baixa pressão fechados que se originam na alta troposfera possuindo o centro mais frio que em sua periferia (GAN, 1982). Os VCAN podem ser classificados como do tipo Palmer e Palmém: os do tipo Palmer originam-se em latitudes tropicais e mais frequentes no verão, sendo que no Brasil são encontrados na região Nordeste. Os do tipo Palmém ocorrem em latitudes subtropicais, surgem em qualquer época do ano, mais comumente observados no inverno e primavera, alterando as condições de tempo no sul da América do Sul (GAN, 1982; VALVERDE RAMÍREZ et al, 2000).

Para Funatsu (2000, p.134) a ocorrência de ciclogêneses sobre a América do Sul está associada à propagação de VCANs originados no Oceano Pacífico Sul que cruzam a Cordilheira dos Andes.

Haas (2002) estudou um caso de evento de tempo severo em Santa Catarina. Seu estudo analisou um sistema de vórtice ciclônico de altos níveis (VCAN) que se aprofundou ao cruzar a cordilheira dos Andes. Tal sistema produziu uma ciclogênese em superfície e ocasionou fortes chuvas no litoral sul e sudeste do Brasil, ocasionando sérios transtornos e inundações de grandes proporções em diversos locais do litoral de Santa Catarina, em especial na região da Grande Florianópolis e nos municípios de Timbé do Sul e Jacinto Machado no litoral sul catarinense.

4 CONTEXTUALIZAÇÃO DE CICLONES EXTRATROPICAIS

O termo ciclone, ou centro de baixa pressão, é o movimento circular do ar ao redor de um centro de pressão mínima na superfície, em sentido horário no hemisfério sul e anti-horário no hemisfério norte. O termo extratropical se deve à sua região de formação, ou seja, formam-se em latitudes médias que compreendem de 30 a 60° S de latitude. Este sistema atmosférico está geralmente associado à condição de tempo instável com formação de nuvens, precipitação e ventos fortes.

No final da Primeira Guerra Mundial, J. Bjerknes (1919) propôs um modelo conceitual de ciclones extratropicais, mostrando que durante o processo de convergência à superfície, o ar frio inclina-se formando uma cunha sob o ar quente, esse ar mais aquecido, ao ascender resfria-se adiabaticamente e assim ocorre a formação de nuvens e precipitação. O modelo de Bjerknes (Figura 10) foi denominado *Teoria da Frente Polar*, já que os ciclones de latitudes médias ocorrem devido à interação de uma massa de ar de origem polar e outra de origem tropical.

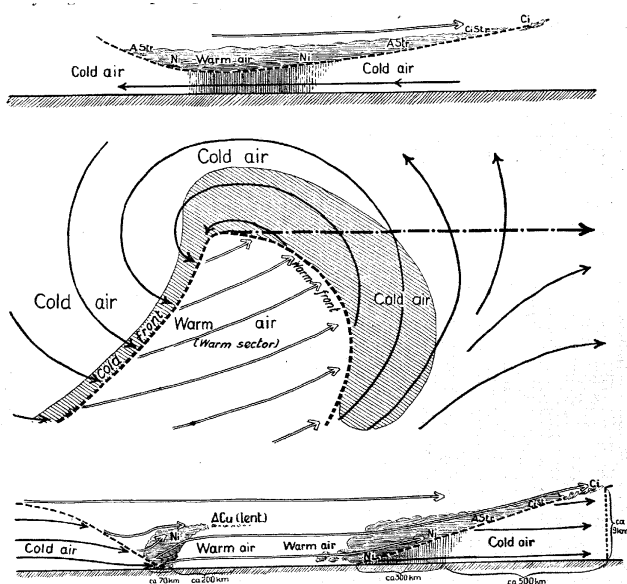


Figura 10: Modelo conceitual de um ciclone no Hemisfério Norte, elaborado por Bjerknes em 1919.

Fonte: Bjerknes e Solberg, 1922.

Posteriormente, em 1922, o modelo inicialmente idealizado foi aperfeiçoado por Bjerknes juntamente com Solberg, quando foi descoberto que os ciclones extratropicais possuíam vários estágios durante o seu ciclo de vida (BJERKNES e SOLBERG, 1922). Nas diversas etapas de desenvolvimento de um ciclone várias forças atuam, destacando-se a força de Coriolis a qual é responsável pelo sentido da circulação (horária no Hemisfério Sul), a força do gradiente de pressão, que promove o deslocamento do sistema e a força de fricção que atua como um sumidouro de energia, diminuindo a intensidade dos ventos. A Figura 11 apresenta os estágios de desenvolvimento de um ciclone extratropical, para o Hemisfério Sul.

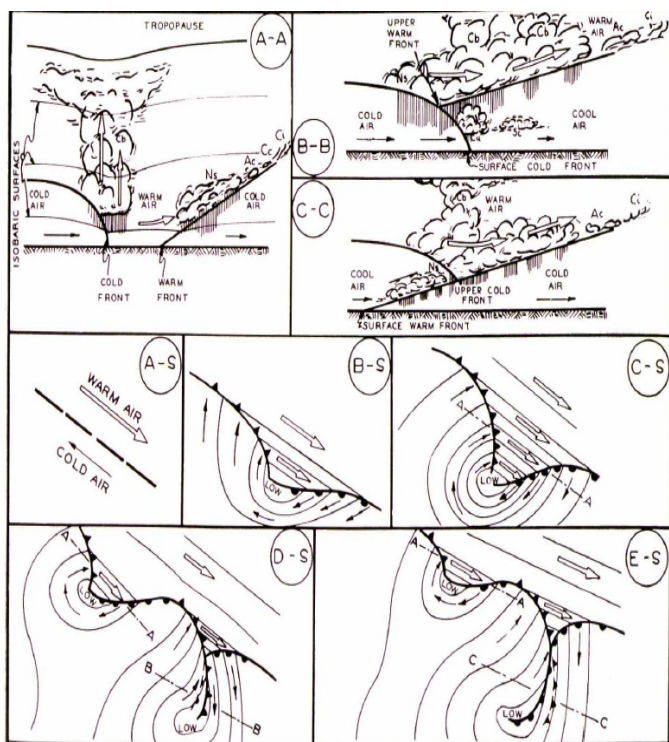


Figura 11: Estágios de desenvolvimento de um ciclone extratropical de acordo com a Teoria da Frente Polar.

Fonte: Garbell, 1947 *apud* Reboita, 2008.

O processo inicial de desenvolvimento dos ciclones extratropicais ocorre através da instabilidade da zona frontal, que separa o ar polar do

ar tropical (Figura 11 A-S). Essa perturbação inicial induz a um movimento circular em torno de uma baixa pressão, formando uma onda frontal constituída por uma frente fria e uma frente quente (Figura 11 B-S). Posteriormente, a frente fria avança sobre a frente quente e inicia-se a fase de oclusão do sistema alcançando seu estágio maduro (Figura 11 C-S e D-S). No estágio jovem o ciclone desenvolve-se enquanto há energia potencial para converter-se em energia cinética. Na região de oclusão, o ar quente é forçado a subir para níveis mais altos da atmosfera diminuindo a energia potencial do sistema, então a onda frontal entra no seu estágio de dissipação, apresentado na Figura 11 E-S (FEDOROVA, 2001).

Apesar do modelo proposto por Bjerknes e Solberg (1922) ter sido aceito por muitos anos, diversos estudos continuaram a serem feitos na tentativa de esclarecer a estrutura dinâmica dos ciclones. Em 1947, Sutcliffe concluiu que o desenvolvimento de ciclones e anticiclones poderia estar associado com a advecção de vorticidade absoluta no nível de 500 hPa e o aquecimento diferencial entre a superfície e o nível de divergência nula (NDN, ou 500 hPa), formulando a primeira equação que descreve o desenvolvimento dos ciclones e anticiclones, que tem como medida a divergência relativa entre a troposfera superior e a inferior. A equação de Sutcliffe foi a primeira do sistema quase-geostrófico permitindo um conhecimento das condições atmosféricas em superfície. A partir daí surgiram novas equações que permitiam o conhecimento das condições atmosféricas de níveis superiores, como a equação da tendência de geopotencial e a equação Omega. Mais detalhes destas equações podem ser consultados em Holton (1992) e Bluestien (1992).

Pettersen (1956) deu continuidade às pesquisas de Sutcliffe, propondo que o desenvolvimento de ciclones extratropicais ocorre quando a advecção de vorticidade ciclônica em médios níveis se sobrepõe a uma zona baroclínica na baixa troposfera.

Pettersen e Smebye (1971, *apud* GAN e SELUCHI, 2008) após analisarem vários ciclones no Hemisfério Norte (HN) mostraram que nem sempre as ciclogêneses estão associadas apenas a advecção de vorticidade ciclônica e que outros mecanismos estavam associados à formação de ciclones extratropicais, concluindo que poderiam agrupá-los em dois tipos, chamados de A e B, de acordo com os mecanismos de formação envolvidos. Os casos do tipo A desenvolvem-se ao longo de superfícies frontais, enquanto que os do tipo B correspondem ao desenvolvimento a sotavento de montanhas, influenciados pela topografia.

4.1 CLIMATOLOGIA DE CICLONES EXTRATROPICAIS

Pesquisas sobre a climatologia dos ciclones no Hemisfério Sul são realizados desde meados do século passado, com os trabalhos de Van Loon (1965) e Taljaard (1967), outros artigos abordam o enfoque climatológico sobre o setor do Atlântico Sul e em alguns outros suas avaliações são especificamente para a América do Sul e Atlântico Sul, como é o caso dos trabalhos de Gan e Rao (1991), Pezza e Ambrizzi (2003) e Mendes *et al* (2007).

Taljaard (1967) utilizando cartas de pressão ao nível médio do mar no período de julho de 1957 a dezembro de 1958 observou que as ciclogêneses são mais frequentes em latitudes médias, entre 35°S e 55°S, especialmente nos meses de inverno e na região subtropical da América do Sul e oceano Atlântico adjacente. Na faixa compreendida entre 25°S e 45°S os ciclones desenvolvem-se com maior frequência no inverno que no verão.

Ferreira (1988) elaborou uma climatologia de ciclogênese e vórtices ciclônicos que cruzam o continente sul-americano na região ao sul de 15°S e entre 30°W e 70°W, utilizando imagens do satélite geoestacionário GOES-E no período de 1980 a 1986. Dos 1080 casos de ciclogêneses analisados, a máxima frequência ciclogênética ocorreu nos anos de 1980 e 1983. Quanto à distribuição geográfica das ciclogêneses na América do Sul destaca-se o litoral sul da Argentina, Uruguai e região Sul do Brasil. O autor identificou os meses de abril (outono) e agosto (inverno) com menor atividade de ciclogêneses, sendo o mês de dezembro a maior atividade das ciclogêneses. O autor ressalta que a ocorrência de ciclones e ciclogêneses na maioria das vezes estão associados à precipitação, onde ao norte de 25°S observa-se as menores ocorrências de precipitação no inverno e as maiores no verão. No entanto, ao sul de 25°S ocorre um mínimo de precipitação no mês de abril e um máximo em setembro.

Utilizando imagens de satélite, Satyamurty et al. (1990) elaboraram uma climatologia de vórtices ciclônicos na América do Sul no período de 1980 a 1986. Os autores obtiveram uma média de 100 vórtices ciclônicos por ano que atravessam o continente sul americano, entre 15°S e 60°S, e muitos desses são gerados ou intensificados na região, sendo que no evento de El Niño de 1983 houve um aumento de 25% no número de casos, em especial, em latitudes ao norte de 30°S. A maior frequência de ciclogêneses foi encontrada no verão, enquanto que os vórtices ciclônicos ocorrem com maior frequência nas estações de outono.

Gan e Rao (1991) realizaram a climatologia de ciclogêneses em superfície para América do Sul, num período de 10 anos (1979-1988), através do uso de cartas sinóticas de superfície e dados de estações meteorológicas de superfície e altitude. Dos 1091 casos de ciclogêneses analisados, a maior frequência sazonal ocorre no inverno e a menor no verão, sendo maio o mês de maior frequência e dezembro o mês com menor ocorrência de ciclogêneses. Quanto à variabilidade interanual, foi observado que em anos de El Niño há um maior número de ciclogênese, com destaque os anos de 1983 e 1987, concordando com resultados encontrados por Satyamurty et al. (1990). Em relação à distribuição espacial, dois centros preferenciais são encontrados, um próximo ao Uruguai com máximo de ciclogêneses no inverno e outro no Golfo de *San Matias*, Argentina, com máximo no verão (Figura 12).

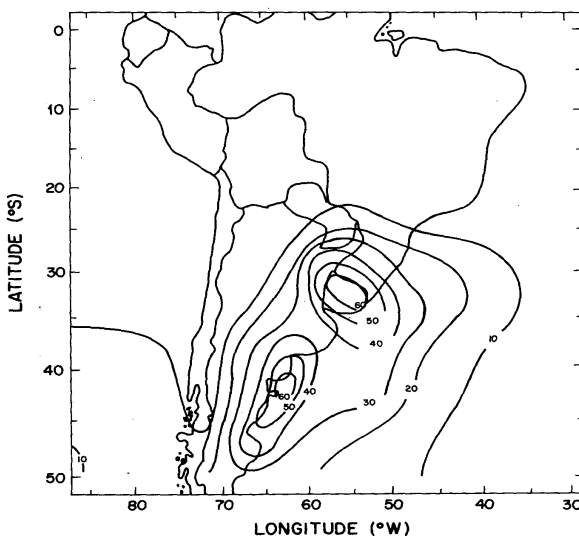


Figura 12: Distribuição anual da frequência de ciclogêneses na América do Sul. Fonte: Gan e Rao (1991).

Murray e Simmonds (1991b) com intuito de verificar se o modelo de circulação geral da atmosfera da Universidade de Melbourne reproduzia os ciclones extratropicais no Hemisfério Sul, durante os meses de verão (janeiro) e inverno (julho) utilizaram um esquema automático de detecção de ciclones (descrito em MURRAY e SIMMONDS, 1991a) que baseia-se na utilização de mínimos de pressão ao nível médio do mar. Os autores notaram que nas duas estações existe

um máximo de atividade ciclônica em torno de 60°S, além de uma grande densidade de sistemas na costa leste dos continentes. Murray e Simmonds (1991b) ressaltam a presença de um máximo no verão na costa leste da América do Sul, entre as latitudes de 20°S e 30°S.

Sinclair (1994) elaborou uma climatologia de ciclones extratropicais para o Hemisfério Sul (HS), durante os anos de 1980 a 1986, através de um método objetivo automático que determinava a distribuição espacial e temporal dos centros de circulação ciclônica no HS, através de mínimos de vorticidade relativa geostrófica (ζ_g) obtida pela altura geopotencial em 1000 hPa. A distribuição dos ciclones durante os meses de verão e inverno revelou que a máxima ocorrência de ciclones próximos aos continentes, em latitudes médias, em torno da Antártica e na região da Nova Zelândia, é observada especialmente no inverno. Ao norte de 40°S a maior densidade de ciclones no verão é encontrada no mar da Tasmânia, próximo a 150°W, no leste da América do Sul e no leste de Madagascar, e a menor ocorrência no oeste dos continentes (Figura 13). De acordo com Sinclair (1994) a maior frequência de ciclones intensos durante o inverno ocorre no mar da Tasmânia e sobre o Oceano Atlântico Sul, próximo de 40°S.

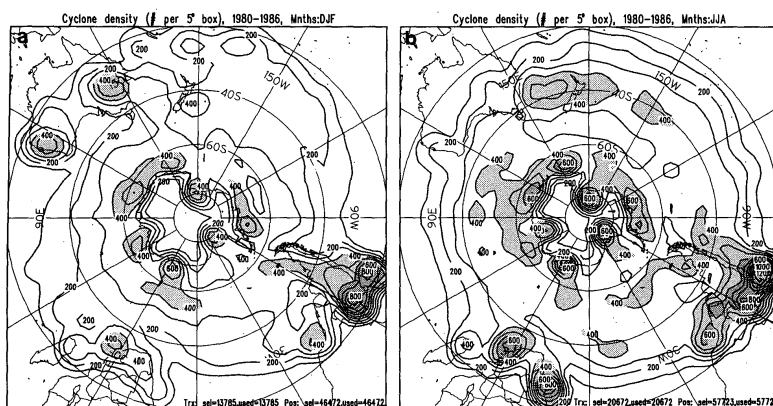


Figura 13: Densidade de ciclones no Verão (esquerda) e Inverno (direita) para um período de 7 anos (190-1986), obtidos das reanálises do ECMWF.

Fonte: Sinclair, 1994.

Sinclair (1995) realizou um novo estudo de ciclones utilizando o mesmo período de dados e metodologia empregada no artigo publicado em 1994. Os resultados mostraram que os ciclones desenvolvem-se em latitudes médias e migram para o leste e para os pólos nos três ciclos de

vida. As regiões ciclogênicas preferências são o leste da Austrália e da América do Sul, no inverno, a sotavento dos Andes, próximo da zona baroclínica associada com a corrente de jato de altos níveis durante todo o ano.

Sinclair (1994, 1995) associa a tendência dos ciclones formarem-se, durante o inverno, preferencialmente na costa leste da Austrália e da América do Sul com as correntes oceânicas quentes nessas regiões.

Beu e Ambrizzi (2006) apresentaram um estudo climatológico de ciclones extratropicais no Hemisfério Sul para um período de 30 anos (1969-1999), utilizando a reanálise do NCEP e o esquema automático de identificação de ciclones (MURRAY E SIMMONDS, 1991 a,b). Os resultados indicaram a existência de condições atmosféricas favoráveis à formação de ciclones no Brasil, Uruguai e Argentina durante eventos de ENOS, sendo mais significativos nas estações de transição (outono e primavera).

Uma climatologia de ciclones entre 120°W-0° e 70°S-0°, no período de 1948 a 2003, foi elaborada por Mendes (2006) a partir de mínimos de pressão ao nível médio do mar, verificando que o leste da Argentina, Uruguai e sul do Brasil é uma região preferencial de ciclogêneses, onde a maior densidade ocorre no inverno e a menor no verão. Os ciclones foram mais frequentes no inverno (35) e menos frequentes no verão (28). O tempo de vida dos ciclones apresenta pouca sazonalidade, com média de 3.07 dias no inverno e 3.03 no verão. A distância percorrida pelos ciclones extratropicais também apresentou pouca variação sazonal, onde as maiores distâncias ocorrem no inverno (em média 1553 km) e na primavera as menores distâncias (1228 km).

Reboita (2008) avaliou o *skill* do modelo RegCM3 (Regional Climate Model – Versão 3) em simular a climatologia de ciclones extratropicais sobre o Atlântico Sul, no período entre 1990 a 1999. A climatologia de ciclones foi obtida através de um esquema automático, que identificava mínimos de vorticidade relativa no vento a 10 m de altura (ζ_{10}), e incluiu todos os sistemas inicialmente com $\zeta_{10} \leq 1,5 \times 10^{-5} \text{ s}^{-1}$ e tempo de vida igual ou superior a 24 horas. As três regiões de maior atividade ciclogênica próximo a costa leste da América do Sul, encontradas pelas simulações foram à Região Sul/Sudeste do Brasil, a desembocadura do rio da Prata no Uruguai e o sul da Argentina, em que as ciclogêneses estão associadas à instabilidade baroclínica em superfície e a distúrbios transientes em níveis superiores. Na Região Sul/Sudeste do Brasil as análises de composição feitas pela autora mostraram que a maior atividade ciclogênica ocorre no verão quando os distúrbios em níveis superiores são mais fracos e há maior

disponibilidade de umidade, e, portanto a umidade é fundamental para o desenvolvimento ciclogênético nesta região.

5 PROCEDIMENTOS TEÓRICO-METODOLÓGICOS

A execução deste trabalho foi dividida em quatro etapas, a primeira objetivou identificar os sistemas de baixa pressão (ciclones) que atuaram na região compreendida entre as latitudes 25°S e 31°S e longitudes 42°W e 52°W (Figura 14). Numa segunda etapa são determinadas às características dos ciclones através da correlação entre a profundidade do ciclone (D) e variáveis meteorológicas, precipitação acumulada (P_{ac}) e vento observado (V_{obs}) nas estações meteorológicas¹. A partir daí, numa terceira etapa, os valores de profundidade são divididos em quartis com intuito de estabelecer uma classificação dos ciclones. Na última etapa é feita a análise da frequência de ocorrência dos ciclones extratropicais na Região Sul e oceano Atlântico adjacente.

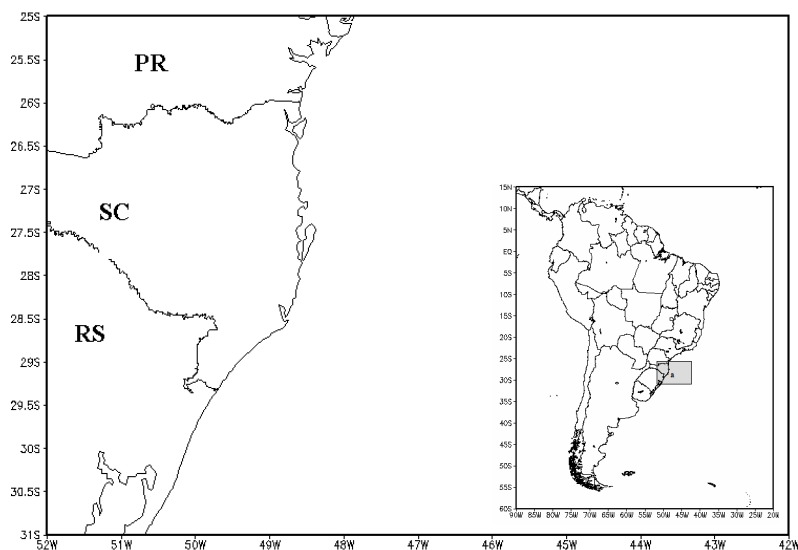


Figura 14: Área de identificação dos ciclones através do esquema automático.

¹ Nos apêndices A e B encontram-se amostras das tabelas que foram utilizadas para realizar os cálculos de correlação, contendo a data, localização, profundidade dos ciclones identificados, P_{ac} e V_{obs} .

5.1 DADOS

Utilizou-se dados de pressão ao nível médio do mar, em hPa, obtidos da reanálise do NCEP/NCAR (National Centers for Environmental Prediction/National Centers for Atmospheric Research) para a identificação dos ciclones extratropicais. Esta reanálise é construída a partir de dados meteorológicos de superfície em terra, navio, radiossonda, aeronaves, satélite e outros, os quais é submetido a mesma metodologia de controle de qualidade e assimilação de dados desde 1957 (KALNAY et al., 1996). A reanálise, acessada em <<http://www.cdc.noaa.gov/>>, é apresentada numa grade global com resolução espacial de 2,5° latitude x 2,5° longitude nos horários das 0000, 0600, 1200 e 1800 UTC.

Para avaliar o comportamento da precipitação e do vento foram utilizados dados meteorológicos em três horários diários 0000, 1200, 1800 UTC de precipitação acumulada (P_{ac}) e velocidade do vento observado (V_{obs}) das estações meteorológicas convencionais: Joinville, Indaial, Itajaí, Lages, São Joaquim, São José e Urussanga distribuídas ao longo do setor leste do estado de SC (Figura 2). Os dados usados foram fornecidos pela Empresa de Pesquisa Agropecuária e Extensão Rural de Santa Catarina S. A. (EPAGRI). A latitude, longitude e altitude dessas estações são apresentadas na Tabela 1. Ressalta-se que o horário das 0600 UTC não foi utilizado por não ocorrer observação meteorológica nas estações administradas pela EPAGRI.

Tabela 1: Estações Meteorológicas Convencionais, conforme sua localização e coordenadas geográficas.

Mesorregião	Estação	Latitude	Longitude	Altitude
Norte	Joinville	26° 15' 08"	48° 51' 22"	20 m
Catarinense				
Vale do Itajaí	Indaial	26° 54' 48"	49° 16' 02"	86,13m
Vale do Itajaí	Itajaí	26° 57' 01"	48° 45' 41"	5 m
Grande	São José	27° 36' 07"	48° 37' 11"	2 m
Florianópolis				
Serrana	Lages	27° 48' 27"	50° 19' 44"	937,73 m
Serrana	São Joaquim	28° 16' 31"	49° 56' 03"	1376 m
Sul Catarinense	Urussanga	28° 31' 55"	49° 18' 53"	48 m

Fonte: EPAGRI

O período da série histórica utilizada inicia em 01 de janeiro de 1998 e finaliza em 20 de outubro de 2008. As falhas contidas nos dados não foram preenchidas, com isso todas as avaliações são realizadas apenas nos casos em que há registro de vento observado (V_{obs}) e precipitação acumulada (P_{ac}).

5.2 ESQUEMA NUMÉRICO DE IDENTIFICAÇÃO E RASTREAMENTO DE CICLONES

Esquemas automáticos de identificação de ciclones e rastreamento de sistemas de pressão em superfície são utilizados desde o início da década de 90. A vantagem de utilização se deve a facilidade em trabalhar com uma grande quantidade de dados, eliminando possíveis erros cometidos em análises subjetivas de cartas sinóticas e imagens de satélite (MURRAY e SIMMONDS, 1991; SIMMONDS e MURRAY, 1999).

O esquema foi desenvolvido na universidade de Melbourne e consiste basicamente em utilizar dados digitais de pressão ao nível médio do mar (p) para localizar centros de baixa pressão e suas trajetórias são rastreadas do início até o final (da ciclogênese até a ciclólise), além de várias outras estatísticas de sua distribuição e movimento² (MURRAY E SIMMONDS, 1991). O algoritmo foi aperfeiçoado no final da década de 90 e todos os detalhes dessas melhorias são mostrados por Simmonds e Murray (1999) e Simmonds et al. (1999).

Para este trabalho os ciclones extratropicais foram identificados utilizando o algoritmo de identificação e rastreamento de ciclones, cedido pela Universidade de Melbourne, e definido para identificar apenas os sistemas ciclônicos fechados em superfície. O laplaciano da pressão na vizinhança do centro do ciclone ($\nabla^2 p$) pode ser tomado como uma medida da força do sistema e nesse estudo são descartados os sistemas com $\nabla^2 p < 0,2 \text{ hPa } ^\circ\text{lat}^{-2}$. O laplaciano da pressão é usado também como critério de classificação, conforme proposto por Simmonds e Murray (1999), onde os ciclones com $\nabla^2 p < 0,7 \text{ hPa } ^\circ\text{lat}^{-2}$ são considerados *fracos* e os ciclones com $\nabla^2 p \geq 0,7 \text{ hPa } ^\circ\text{lat}^{-2}$ são considerados *intensos*. Apesar do valor do laplaciano da pressão ser importante, essa medida tem uma dependência implícita da escala horizontal. Um ciclone, com uma determinada profundidade,

² No apêndice C encontra-se um exemplo das saídas geradas pelo esquema.

apresentará maior intensidade ($\nabla^2 p$) quanto menor for à escala horizontal (SIMMONDS E KEAY, 2000). Por isso, outros parâmetros como a profundidade (D) e o raio (R) do ciclone tornam-se necessários à análise. Todas essas variáveis estão relacionadas, conforme nota-se através da Equação 1:

$$D = \frac{1}{2} \frac{\partial^2 p}{\partial r^2} R^2 = \frac{1}{4} \nabla^2 p R^2 \quad (1)$$

onde $\nabla^2 p$ é o valor médio do laplaciano da pressão numa área correspondente a região que cerca o máximo $\nabla^2 p$, em que o $\nabla^2 p$ é positivo. A distância média, em °lat, entre o centro do sistema e a periferia dessa área é o R do sistema. A profundidade D representa sobretudo a influencia do ciclone, incluindo a intensidade e escala (LIM E SIMMONDS, 2007).

Segundo Simmonds e Keay (2000), a relação entre o $\nabla^2 p$, o R e a D para sistemas individuais (Equação 1) sugere que essas estatísticas possam ser proveitosas quando suas climatologias são comparadas. Os autores complementam ainda que exista considerável covariância temporal entre os parâmetros e, por isso, não se espera que a D apareça em cartas médias. Dito isso e considerando que as associações realizadas neste estudo são feitas, a cada horário sinótico, entre o V_{obs} e a P_{ac} e um ciclone individual, pode-se fazer as análises somente utilizando a D do sistema.

5.3 AVALIAÇÃO ESTATÍSTICA

O teste de normalidade de Kolmogorov-Smirnov foi aplicado nos dados utilizados para o tratamento estatístico e não apresentaram distribuição normal. Porém, esta normalidade não foi considerada restritiva para aplicação dos testes paramétricos, devido ao grande número de casos considerados ($n > 450$).

O efeito dos sistemas ciclônicos individualmente em cada estação meteorológica durante o período estudado são avaliados, através do cálculo da correlação de Pearson (r) entre a profundidade (D) e a P_{ac} e o V_{obs} em cada uma das 7 estações. O cálculo da correlação (r) foi elaborado em duas partes, com o intuito de identificar a associação entre a D e a P_{ac} e o V_{obs} , em cada estação meteorológica, para cada horário sinótico. Primeiramente, o cálculo foi elaborado para toda a série de sistemas ciclônicos identificados na área de estudo. Posteriormente, foram selecionados os sistemas ciclônicos que atuaram em cada estação

do ano (inverno, primavera, verão e outono). Classificou-se como estação de verão os meses de dezembro, janeiro e fevereiro (DJF); outono, os meses de março, abril e maio (MAM); inverno, os meses de junho, julho e agosto (JJA); e como primavera os meses de setembro, outubro e novembro (SON).

O coeficiente de correlação de Pearson (r) é dado pela equação:

$$r = \frac{\sum_{i=1}^n X_i Y_i}{\left[\left(\sum_{i=1}^n X_i^2 \right) \left(\sum_{i=1}^n Y_i^2 \right) \right]^{1/2}} \quad (2)$$

onde n é o número de horários em que foi identificado ciclone extratropical na área mostrada da figura 11, X representa os valores de profundidade D , e Y representa o V_{obs} ou a P_{ac} . Neste trabalho será considerada a classificação das correlações de Pearson como fraca ($0 \leq r < 0,3$), moderada ($0,3 \leq r < 0,7$) e forte ($0,7 \leq r < 1$) (MAXWELL E SATAKE, 1997). Utilizando o nível de significância de 5 % ($P \leq 0,05$), aplicou-se nos resultados de r o teste *t de Student* (SPIEGEL et al., 2000). O teste t é dado pela equação

$$t = \frac{r\sqrt{n}}{\sqrt{1-r^2}} \quad (3)$$

onde r representa o coeficiente de correlação (r) e n é o número de horários que foi identificado ciclone extratropical na área mostrada da figura 11 (número de eventos).

Para os casos em que a associação da profundidade (D) com as variáveis meteorológicas (V_{obs} e P_{ac}) apresenta significância estatística, construiu-se gráficos para demonstrar os valores da variável em função da D . Para isto, dividiu-se os valores da variável meteorológica em quartis (25 %) e, para cada um dos quatro intervalos, calcularam-se a média, o desvio padrão e os valores mínimo e máximo. Portanto, o primeiro e quarto quartis da profundidade (D) representam, respectivamente, os ciclones mais fracos e mais fortes.

Para verificar se há diferenças nas médias das variáveis meteorológicas (V_{obs} e P_{ac}) entre os quartis de profundidade (D) e se estas são significativas estatisticamente, aplicou-se o teste de hipótese denominado análise de variância (ANOVA). A ANOVA é um método que testa a igualdade entre duas ou mais médias populacionais, baseado

na análise de variâncias amostrais (TRIOLA, 2005). Para este trabalho utilizou-se a análise de variância com um fator (*One-Way*) e um nível de confiança (α) de 95%.

Para os casos em que as médias das variáveis apresentaram diferenças entre si, aplicou-se o teste a posterior de Tukey ($\alpha = 95\%$), com o objetivo de verificar dentro dos quartis quais as médias que foram diferentes. O critério de Tukey (Webster, 2006) é dado pela expressão:

$$T = q_{\alpha, c, n-c} \sqrt{\frac{MQD}{r_1}} \quad (4)$$

onde T representa o critério de Tukey, MQD representa a média dos quadrados dos erros e r_1 número de pares de médias amostrais. Todos os cálculos foram feitos nos software *Origin 7.0* e *Statistica 7.0*

5.4 VARIABILIDADE DOS CICLONES EXTRATROPICAIS

A última etapa deste trabalho consiste em estudar a variabilidade da frequência de ocorrência de ciclones extratropicais na região Sul e Sudeste do Brasil e oceano Atlântico adjacente (Figura 13). Para isto, utilizou dados de pressão ao nível médio do mar, em hPa, obtidos da reanálise do NCEP/NCAR (descrito no item 5.1.1) para o período de 1 de janeiro de 1957 a 31 de dezembro de 2009.

Os ciclones foram identificados através do esquema automático de identificação e rastreamento de ciclones (MURRAY E SIMMONDS, 1991), descrito no item 5.1.2, para o período de 53 anos, na região compreendida entre 15°S e 40°S de latitude e 38°W e 58°W de longitude (Figura 13). A análise foi dividida em três partes:

1º) Identificação anual da ocorrência de ciclones na região compreendida entre 15°S-40°S e 38°W-58°W, que a partir de agora trataremos apenas como área A_T ;

2º) Identificação sazonal da ocorrência de ciclones na área A_T , sendo que cada estação do ano foi definida no item 5.1.3, deste trabalho;

3º) Identificação anual de ocorrência de ciclones por faixa latitudinal, que variam em intervalos de 5 em 5 graus de latitude. Cada faixa latitudinal (Figura 14) foi denominada como:

A1 – região compreendida entre os paralelos de 15°S e 20°S e os meridianos de 38°W-58°W;

A2 – região compreendida entre os paralelos de 20°S e 25°S e os meridianos de 38°W-58°W;

A3 – região compreendida entre os paralelos de 25°S e 30°S e os meridianos de 38°W-58°W;

A4 – região compreendida entre os paralelos de 30°S e 35°S e os meridianos de 38°W-58°W;

A5 – região compreendida entre os paralelos de 35°S e 40°S e os meridianos de 38°W-58°W;

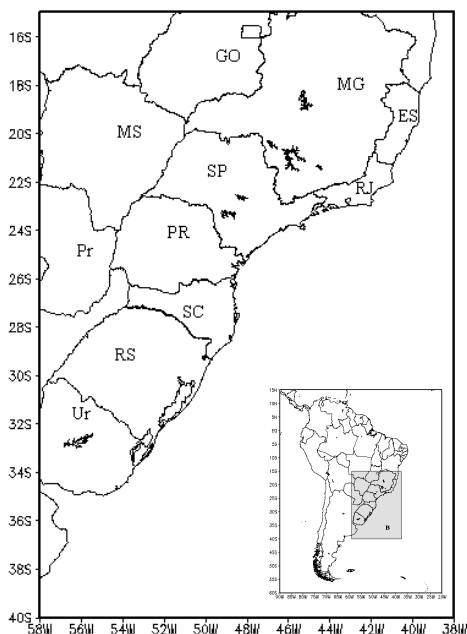


Figura 15: Área de identificação dos ciclones para análise da variabilidade.

A partir da identificação dos ciclones, investigou-se a relação entre a ocorrência de ciclones na área A_T com o índice de Oscilação Decadal do Pacífico (ODP). O mecanismo utilizado nesta análise consiste basicamente em calcular a anomalia de ocorrência de ciclones, para os três casos descritos acima. Para isto, foi calculada a média aritmética de ocorrência de ciclones, nos três casos, e finalmente a anomalia de ocorrência de ciclones, que pode ser expressa pela equação 5:

$$AC = C_i - \bar{C} \dots\dots\dots(5)$$

onde AC, representa a anomalia de ocorrência de ciclones, C_i representa o número de ocorrência de ciclones, e \bar{C} representa a média aritmética de ocorrência de ciclones, calculada para o período de 1957-2009. Essas anomalias são apresentadas também por estações do ano. Nesses casos, a média (\bar{C}) e o número de ocorrência de ciclones (C_i) é calculada somente nos meses referentes a cada estação do ano. O resultado é expresso em forma de gráficos, confeccionados no software Excel.

O conjunto de dados da ODP encontra-se disponível *on line*, através do site <<http://jisao.washington.edu/pdo/PDO.latest>>, desde janeiro de 1900 a dezembro de 2010. A série aqui utilizada consiste desde janeiro de 1957 a dezembro de 2009.

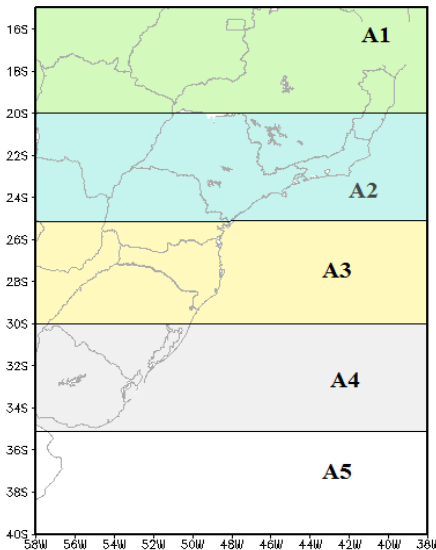


Figura 16: Área de identificação dos ciclones por faixas latitudinais.

6 RESULTADOS E DISCUSSÕES

A análise aqui apresentada destina-se primeiramente à caracterizar o comportamento da precipitação acumulada (P_{ac}) e do vento observado (V_{obs}) nas estações meteorológicas de Joinville, Indaial, Itajaí, São José, Lages, São Joaquim e Urussanga (Tabela 1) quando houve atuação de ciclones extratropicais na área em que foram identificados (Figura 14). Posteriormente, é feito um levantamento dos ciclones extratropicais que atuaram na região Sul do Brasil e oceânico Atlântico Adjacente, entre 1957 a 2009.

6.1 COMPORTAMENTO DA PRECIPITAÇÃO ACUMULADA

Utilizando dados de precipitação acumulada nos horários sinóticos 0000, 1200 e 1800 UTC, entre 01 de janeiro de 1998 e em 20 de outubro de 2008, para os casos em que houve a atuação de ciclones extratropicais, calculou-se a correlação (r) entre a profundidade (D) do ciclone e a P_{ac} .

Os valores de correlação para todas as estações meteorológicas são baixos e sem significância estatística (Tabela 2), indicando que a associação da profundidade do ciclone com a precipitação acumulada, em cada estação meteorológica, é inexistente estatisticamente. Sugere-se que a posição do ciclone em relação à estação esteja relacionada com a ocorrência de precipitação, sendo assim ciclones que se posicionam mais ao sul da área de identificação poderiam estar mais associados à ocorrência de precipitação nas mesorregiões do leste catarinense e Serrana. Monteiro (2007) sugere que o afundamento do ar nas encostas da Serra Geral força a estabilidade do ar em regiões próximas do litoral, assim a instabilidade ocasionada por ciclones extratropicais ocorre mais em regiões do Planalto do que em áreas mais próximas da costa.

Os ciclones identificados são formados a partir da perturbação dinâmica de altos e médios níveis da troposfera, sendo essa perturbação um cavado ou, nos casos mais intensos, um vórtice ciclônico. Quando essa perturbação está um pouco a oeste da serra e litoral de Santa Catarina (SC), ocorre advecção de vorticidade ciclônica sobre essas áreas, favorecendo a formação de nuvens e chuva. À medida que a perturbação se desloca mais para leste, ocorre um aprofundamento das superfícies isobáricas até a superfície e a partir daí ocorre a ciclogênese. Nesta situação meteorológica, a chuva no leste e serra de SC seria mais causada pelo cavado (ou pelo vórtice ciclônico) do que propriamente pelo ciclone em superfície.

Ferreira (1988) ao estabelecer uma climatologia de ciclogêneses e vórtices ciclônicos que cruzam o continente sul Americano ao sul de 15°S e entre as longitudes de 30°-70° W, encontrou uma relação entre as ciclogêneses e a ocorrência de precipitação. Os totais mensais de precipitação foram separados em faixas latitudinais de 5°, observando que as precipitações nas faixas latitudinais entre 15-25°S foram consideradas como bastante influenciadas pelas ciclogêneses e na faixa latitudinal de 25-30°S existe uma alta frequência de ciclogênese no inverno, com pouca ocorrência de precipitação, associando este resultado à menor quantidade de umidade existente na atmosfera. Ressalta-se que a área de estudo utilizada por Ferreira (1988), é bem mais abrangente do que a analisada neste estudo, além do fato da metodologia de identificação das ciclogêneses ser feita por análises subjetivas.

6.2 COMPORTAMENTO DO VENTO OBSERVADO

As correlações entre a profundidade (D) do ciclone e o vento observado (V_{obs}), para cada estação meteorológica, são apresentadas nas tabelas 3 e 4. A partir da aplicação do teste t de Student, as correlações que apresentaram significância estatística foram destacadas e apenas estes resultados são analisados.

Primeiramente a associação da D com o V_{obs} é feita para toda a série histórica, ou seja, para todos os casos ocorridos entre 01 de janeiro de 1998 e 20 de outubro de 2008. Posteriormente, a série histórica foi dividida sazonalmente, conforme descrito no Capítulo 5. Os valores positivos de coeficiente de correlação (r) indicam que quanto maior a profundidade (D) do ciclone, mais forte é o vento observado.

Os valores de correlação apresentados na tabela 3 mostram que existe associação entre D e V_{obs} nas estações meteorológicas de Joinville, Indaial, Itajaí, Lages, São Joaquim e Urussanga. A única estação que apresentou baixo valor de correlação e sem significância estatística foi São José. Bitencourt et al. (2010), embora tenham utilizado uma área mais abrangente para identificar os ciclones e dados de estações meteorológicas automáticas com observações a cada hora, encontraram associações semelhantes para o caso São José e atribuíram as características do relevo nas proximidades da estação como principal causa.

Considerando toda a série histórica, todas as associações da D e V_{obs} foram fracas (Tabela 3). Nota-se que nas estações localizadas em latitudes mais ao sul os valores de r aumentam, sendo São Joaquim a

localidade que apresenta as melhores associações. Possivelmente pelo fato de ser a estação mais elevada, numa altitude de 1346 m, e sem barreiras impostas pelo relevo, que impedem a circulação de ventos. Urussanga que embora seja a estação que está posicionada mais ao sul e mais próxima do litoral, apresenta $r \approx 0,12$. Isto mostra que as características do relevo são bastante importantes para avaliar a associação da D com o V_{obs} .

Ao analisar sazonalmente, percebe-se que São Joaquim é a única estação meteorológica que apresenta associação entre a D e o V_{obs} nas quatro estações do ano, sendo que existe correlação fraca no verão, outono e primavera e moderada no inverno, com r de 0,37 (Tabela 4). No caso de Lages, a associação da D com o V_{obs} é moderada, com $r \approx 0,44$, na estação de inverno, e fraca nas estações de outono e primavera (Tabela 4). A melhor associação da D com o V_{obs} durante o inverno é explicada pelo fato dos ciclones serem mais profundos (SIMMONDS E KEAY, 2000b), já que a baroclinia é maior nesta época do ano.

Para a estação de Itajaí, há correlação moderada entre D e V_{obs} para o outono, inverno e primavera, com valores de r pouco maiores no outono (Tabela 4). Neste caso não há correlação somente no verão, o que sugere que os efeitos de brisa, forçada pela diferenciação térmica terra-mar nesta época do ano, prevaleçam e minimizem os efeitos dos sistemas ciclônicos que em geral são menos intensos neste período.

A localidade de Indaial apresentou correlação moderada no inverno e na primavera, e fraca no outono (Tabela 4). Na estação de Joinville a associação da D com o V_{obs} é verificada somente nos meses de outono e inverno (Tabela 4).

A estação de São José embora não apresente associação da D com o V_{obs} , quando se considera toda a série histórica (Tabela 3), verifica-se que no verão existe associação fraca (Tabela 4). Para o caso de Urussanga, que apresenta correlação fraca na série histórica (Tabela 3), verifica-se que somente na primavera essa associação existe (Tabela 4).

Os baixos valores de correlação e a ausência de associação em determinadas estações do ano em algumas localidades (Tabelas 3 e 4) indicam que a presença de forçantes locais, como o relevo, cobertura do solo, desenho do litoral de SC e a diferenciação térmica favorecida pelos contrastes terra/mar e vale/montanha, influenciam o comportamento do vento observado. Em outras palavras, mesmo com a presença de ciclones extratropicais próximos à costa catarinense, as características

locais em torno de cada estação meteorológica mostram-se bastante importantes para a ocorrência de ventos.

Uma característica importante dos efeitos ciclônicos sobre o vento observado na costa da região Sul do Brasil destacada por Bitencourt et al. (2010) é a posição do ciclone em relação à estação meteorológica. Os autores constataram, através de cálculos de correlação, que a associação do vento observado com os ciclones é verificada até uma distância de 1200 km da costa, no entanto para as estações próximas de 27°S essa associação existe mais claramente até 600 km da costa.

Tabela 2: Correlação entre a profundidade (D) do ciclone e a precipitação acumulada (P_{ac}) para cada estação meteorológica

Estação Meteorológica	Joinville	Indaial	Itajaí	São José	Lages	São Joaquim	Urussanga
Correlação para série histórica	-0,03	-0,04	-0,03	-0,03	-0,01	-0,06	0,10
n*	623	664	660	664	664	664	664

Tabela 3: Correlação entre a profundidade (D) do ciclone e o vento observado (V_{obs}) para cada estação meteorológica.

Estação Meteorológica	Joinville	Indaial	Itajaí	São José	Lages	São Joaquim	Urussanga
Correlação para série histórica	0,12	0,21	0,24	0,07	0,2	0,29	0,12
n*	453	481	470	481	481	481	481

$P \leq 0,05$

Tabela 4: Correlação (r) entre a profundidade (D) do ciclone e o vento observado (V_{obs}), conforme a estação do ano.

Correlação Sazonal	Estações Meteorológicas						
	Joinville (n)	Indaial (n)	Itajaí (n)	São José (n)	Lages (n)	São Joaquim (n)	Urussanga (n)
Verão	0,03(149)	-0,00(156)	0,02(155)	0,22(156)	-0,03(156)	0,20(156)	0,06(156)
Outono	0,29(115)	0,20(129)	0,39(123)	0,06(129)	0,21(129)	0,26(129)	0,10(129)
Inverno	0,26(89)	0,30(95)	0,32(92)	0,16(95)	0,44(95)	0,37(95)	0,10(95)
Primavera	0,03(100)	0,35(101)	0,34(100)	-0,08(101)	0,21(101)	0,29(101)	0,26(101)

* n – representa o número de casos em que foi identificado um ciclone extratropical.

6.2.1 Análise da série história

Com base nos resultados de correlação que apresentaram significância estatística construíram-se gráficos do tipo Box Plot, com intuito de identificar a influência do ciclone, como uma função da profundidade D , na variável V_{obs} em cada estação meteorológica localizada nas mesorregiões do leste catarinense e Serrana. Para tanto, é estabelecida uma classificação dos ciclones, sendo que os ciclones mais profundos (4º quartil) são considerados mais fortes e os com menor profundidade (1º quartil) são os mais fracos.

Os ciclones extratropicais identificados na área próxima do litoral de Santa Catarina (Figura 14) que possuem valores de D menor que 2 hPa, são os ciclones mais fracos, pertencentes ao primeiro quartil, e os que possuem valores da D maior que 4 hPa, são os ciclones mais fortes, e pertencentes ao quarto quartil. Ressalta-se que esses valores de profundidade D são para região estudada neste trabalho (Figura 14), portanto um domínio bastante específico.

A importância dos ciclones mais fortes como causa do vento observado pode ser verificado através da figura 17, a qual mostra que a média do V_{obs} é sempre maior para o quarto quartil na maioria das estações meteorológicas. As análises de variâncias (ANOVA) para cada estação meteorológica, seguida do teste a posterior de Tukey, confirmam esta afirmação e são apresentadas nas tabelas 5 e 6.

As estações de Joinville e Urussanga não apresentaram diferenças significativas entre as médias do V_{obs} quando se compara os ciclones mais fortes e os mais fracos (Tabela 5).

Joinville está posicionada a sotavento e no sopé da Serra do Mar que pode alcançar 1500 m, estando protegida dos ventos do quadrante oeste, e que normalmente deveriam confluir em direção ao centro dos ciclones. Além de ser a estação mais ao norte do litoral catarinense, onde o vento proveniente dos ciclones é menos intenso que em estações mais ao sul. A estação de Urussanga, embora esteja mais ao sul do litoral catarinense, está localizada no sopé da escarpa da Serra Geral, numa região de relevo com desníveis acentuados, onde a ocorrência de ventos é bastante influenciada pelos efeitos locais. As características peculiares de cada estação podem justificar as possíveis causas que resultam em comportamento do V_{obs} distinto das demais estações meteorológicas.

São Joaquim por estar posicionada nas proximidades da borda da Serra geral, com escarpamento voltado a SW, está mais exposta a ação dos ventos. Isto pode ser constatado através da figura 17, em que

independente da intensidade do ciclone, a média, o desvio padrão e o valor máximo do V_{obs} são mais elevados comparando com as demais estações meteorológicas. Isto reforça que a altitude dessa estação, acima de 1300 m, contribui para ocorrência de maiores valores de V_{obs} , assim como a topografia que é levemente ondulada.

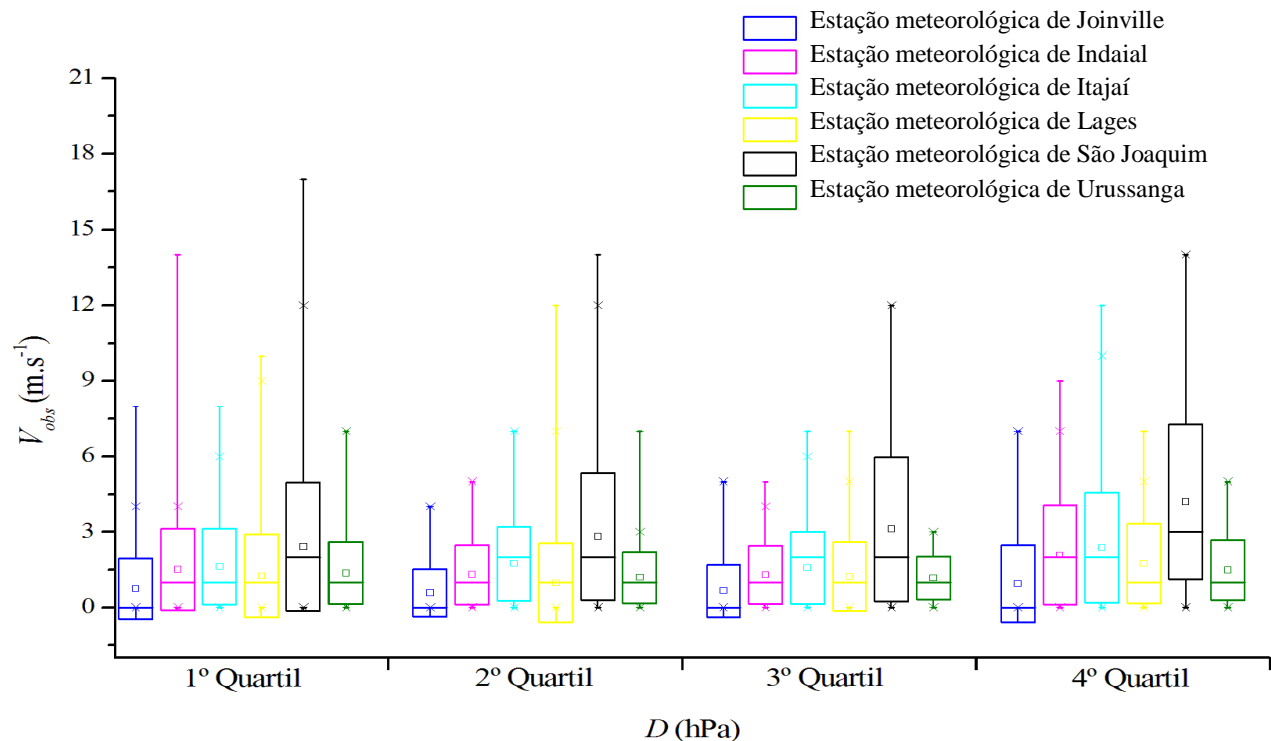


Figura 17: Média (\square), mediana (— no interior da caixa), desvio padrão acima e abaixo da média (caixa), percentis de 1 % (\times inferior) e 99 % (\times superior) e valores mínimo (\perp) e máximo (\top) do vento observado (V_{obs}) na série histórica para as estações meteorológicas como uma função do 1º, 2º, 3º e 4º quartil da profundidade do ciclone D (hPa).

Tabela 5: Análise de variância para série histórica.

Estação meteorológica	ANOVA ³ para série histórica	
	F	p
Joinville	1,93069 ^{ns}	0,12381 ^{ns}
Indaial	7,1257 ^s	0,00011 ^s
Itajaí	5,71731 ^s	0,00075 ^s
Lages	5,28173 ^s	0,00137 ^s
São Joaquim	9,22836 ^s	0,00001 ^s
Urussanga	2,45721 ^{ns}	0,06229 ^{ns}

^s – Diferença significativa ao nível de significância de 5%.

^{ns} – Não significativo ao nível de significância de 5%.

Ressalta-se que o vento máximo observado em quase todas as estações (exceto Itajaí) necessariamente não irá ocorrer nos casos de ciclones mais profundos (Figura 17). Isso pode ser devido às rajadas mais intensas de vento que ocorrem geralmente no início da ciclogênese. Nessa fase embora os valores de D ainda não estejam altos, o decaimento da pressão do sistema ocorre mais intensamente, provocando convergência de ventos fortes na direção do centro do ciclone. Portanto, os ciclones também irão influenciar o V_{obs} na fase de desenvolvimento do sistema, ou seja, quando os ciclones ainda estão mais fracos e em fase de intensificação.

Considerando que a intensidade do V_{obs} é maior em latitudes mais altas, percebe-se que Urussanga, apresenta os menores valores de V_{obs} médio e máximo (Figura 17), concordando com os resultados apresentados por Bitencourt et al. (2010). Os autores utilizaram dados de nove estações meteorológicas automáticas distribuídas ao longo do litoral Sul do Brasil e compararam os valores do vento observado com a profundidade do ciclone e a distância do centro do ciclone em relação à estação. Os autores atribuíram às particularidades da localidade da estação de Urussanga para que o comportamento do V_{obs} seja exceção. O município de Urussanga situa-se numa região de serras subparalelas a montante da planície do rio Urussanga que corta o embasamento cristalino obliquamente ao litoral. Sua sede encontra-se a uma altitude de 49 m (MUNICIPIOS, 2011), cercada por elevações de até 200 m. Sendo assim, a estação meteorológica, a 48 m, pode estar localizada em

³ Tabelas completas com as análises de variância e os testes de Tukey são apresentadas nos Apêndices.

condições protegidas da ação direta dos ventos provenientes de ciclones que se deslocam pelas proximidades do litoral catarinense.

Tabela 6: Teste a posterior de Tukey para comparação das médias do V_{obs} entre os quartis da D .

	1º quartil	2º quartil	3º quartil	4º quartil
Estação meteorológica de Indaial				
Média V_{obs} (m.s ⁻¹)	1,5124	1,3	1,2917	2,0833
1º quartil		0,701747 ^{ns}	0,675655 ^{ns}	0,019342 ^s
2º quartil	0,701747 ^{ns}		0,999973 ^{ns}	0,000432 ^s
3º quartil	0,675655 ^{ns}	0,999973 ^{ns}		0,000347 ^s
4º quartil	0,019342 ^s	0,000432 ^s	0,000347 ^s	
Estação meteorológica de Itajaí				
Média V_{obs} (m.s ⁻¹)	1,6218	1,7395	1,5702	2,3729
1º quartil		0,949478 ^{ns}	0,995480 ^{ns}	0,003339 ^s
2º quartil	0,949478 ^{ns}		0,869108 ^{ns}	0,019755 ^s
3º quartil	0,995480 ^{ns}	0,869108 ^{ns}		0,001622 ^s
4º quartil	0,003339 ^s	0,019755 ^s	0,001622 ^s	
Estação meteorológica de Lages				
Média V_{obs} (m.s ⁻¹)	1,2562	0,975	1,2333	1,75
1º quartil		0,490264 ^{ns}	0,999457 ^{ns}	0,062449 ^{ns}
2º quartil	0,490264 ^{ns}		0,565022 ^{ns}	0,000601 ^s
3º quartil	0,999457 ^{ns}	0,565022 ^{ns}		0,046860 ^s
4º quartil	0,062449 ^{ns}	0,000601 ^s	0,046860 ^s	
Estação meteorológica de São Joaquim				
Média V_{obs} (m.s ⁻¹)	2,4132	2,8167	3,1083	4,2
1º quartil		0,668897 ^{ns}	0,206254 ^{ns}	0,000011 ^s
2º quartil	0,668897 ^{ns}		0,846184 ^{ns}	0,000630 ^s
3º quartil	0,206254 ^{ns}	0,846184 ^{ns}		0,011870 ^s
4º quartil	0,000011 ^s	0,000630 ^s	0,011870 ^s	

^s – Diferença significativa ao nível de significância de 5%.

^{ns} – Não significativo ao nível de significância de 5%.

6.2.2 Análise Sazonal

As figuras 18, 19, 20 e 21 mostram alguns parâmetros estatísticos do comportamento do vento observado (V_{obs}) em função da profundidade (D) do ciclone, respectivamente, para o verão, outono, inverno e primavera.

O comportamento do V_{obs} no verão é avaliado para São José e São Joaquim. Comparando as duas estações meteorológicas, verifica-se que esta é a única estação do ano em que os valores da média e V_{obs} máximo são menores para São Joaquim (Figura 18). Porém, a presença de forçantes locais pode influenciar a ocorrência de ventos mais intensos em São José, em que o gradiente de temperatura terra-mar, maior durante o verão, intensifica a ação das brisas que podem se somar aos ventos provenientes dos ciclones, resultando em ocorrência de ventos mais intensos. Essas forçantes locais podem estar intensificadas pelo fato de que na região se registra a menor extensão de planície costeira, que não ultrapassa os 500 m, entre o sopé do Morro do Cambirela (1043 m) e a Ilha de Santa Catarina.

Na estação de São José a análise de variância (Tabela 7) mostra que não há diferenças significativas entre a média de V_{obs} para os ciclones mais fracos e os mais fortes. Em geral, os ciclones mais profundos (4º quartil) ocorrem em áreas mais afastadas da costa, onde os gradientes de temperatura da superfície do mar geralmente são maiores (Sinclair, 1995).

Tabela 7: Análise de variância para os casos de verão.

Estação meteorológica	ANOVA para verão	
	F	p
São José	2,59086 ^{ns}	0,05492 ^{ns}
São Joaquim	2,76258 ^s	0,04407 ^s

^s – Diferença significativa ao nível de significância de 5%.

^{ns} – Não significativo ao nível de significância de 5%.

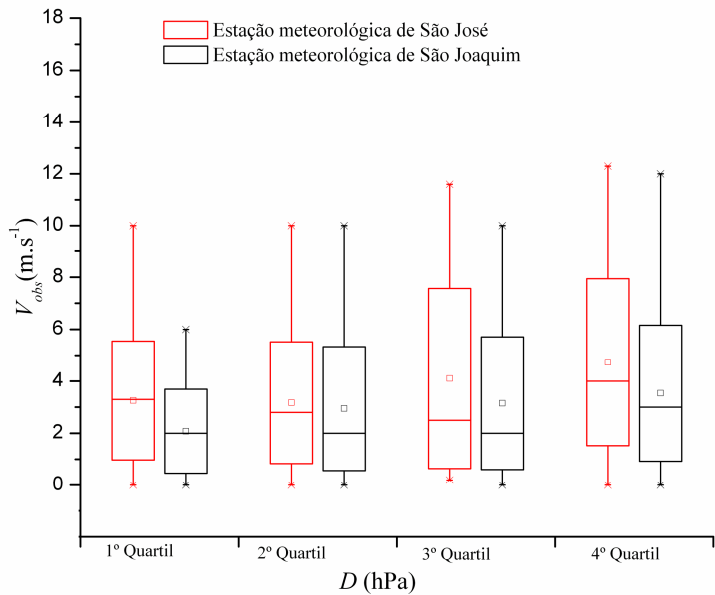


Figura 18: Média (\square), mediana (— no interior da caixa), desvio padrão acima e abaixo da média (caixa), percentis de 1 % (\times inferior) e 99 % (\times superior) e valores mínimo (\perp) e máximo (\top) do vento observado (V_{obs}) no verão para as estações meteorológicas como uma função do 1º, 2º, 3º e 4º quartil da profundidade do ciclone D (hPa).

Tabela 8: Teste a posterior de Tukey para comparação das médias entre os quartis da D na estação meteorológica de São Joaquim.

	1º quartil	2º quartil	3º quartil	4º quartil
Média V_{obs} (m.s ⁻¹)	2,0769	2,9487	3,1538	3,5385
1º quartil		0,347252 ^{ns}	0,171355 ^{ns}	0,028166 ^s
2º quartil	0,347252 ^{ns}		0,979925 ^{ns}	0,677014 ^{ns}
3º quartil	0,171355 ^{ns}	0,979925 ^{ns}		0,884846 ^{ns}
4º quartil	0,028166 ^s	0,677014 ^{ns}	0,884846 ^{ns}	

^s – Diferença significativa ao nível de significância de 5%.

^{ns} – Não significativo ao nível de significância de 5%.

Na estação de São Joaquim, a análise de variância seguida do teste a posterior de Tukey (Tabelas 7 e 8) mostra que existe diferenças significativas na média do V_{obs} entre os ciclones mais fracos (1º quartil) e os ciclones mais fortes (4º quartil). No entanto, essas diferenças não são significativas entre os demais quartis da D (2º e 3º quartil).

Durante o outono (Figura 19) percebe-se que nas estações de Joinville, Indaial, Itajaí e Lages o V_{obs} apresenta uma tendência de aumentar conforme os sistemas ciclônicos se intensificam, indicando que os efeitos dos ciclones no V_{obs} ocorrem especialmente nos casos de ciclones mais fortes (Tabelas 9 e 10). Em Indaial e Lages, podem ocorrer rajadas intensas de V_{obs} também nos casos de ciclones mais fracos.

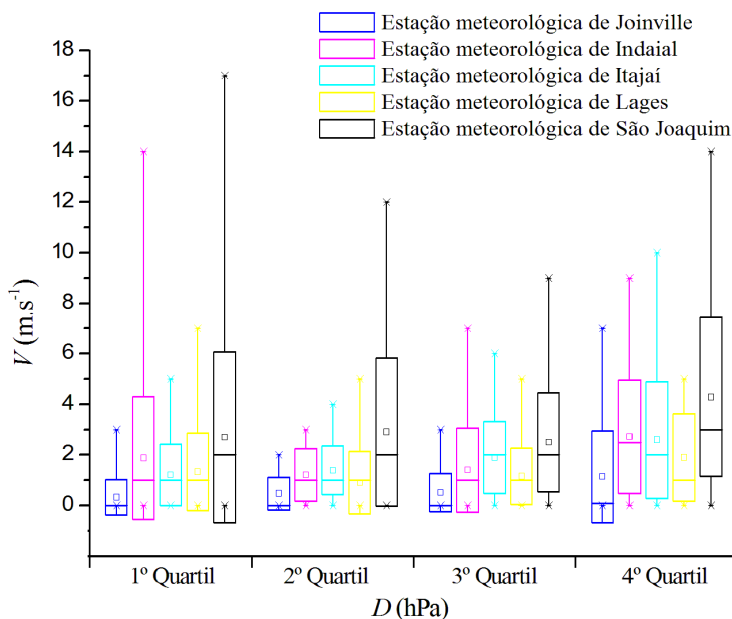


Figura 19: Média (\square), mediana (— no interior da caixa), desvio padrão acima e abaixo da média (caixa), percentis de 1 % (\times inferior) e 99 % (\times superior) e valores mínimo (\perp) e máximo (\top) do vento observado (V_{obs}) no outono para as estações meteorológicas como uma função do 1º, 2º, 3º e 4º quartil da profundidade do ciclone D (hPa).

No caso de São Joaquim, embora a média do V_{obs} seja maior no 4º quartil (Figura 19), a análise de variância apresentada na tabela 9 revela que os valores de V_{obs} médio não são significativamente diferentes entre os quartis da D . Sendo assim, durante o outono, não apenas os ciclones mais fortes ocasionarão ventos intensos em São Joaquim, como também os ciclones mais fracos e em fase de intensificação. A altitude da estação, numa região sem barreiras impostas pelo relevo, possivelmente contribui para ocorrência de rajadas de vento mais intensas durante a fase de intensificação dos ciclones extratropicais.

Tabela 9: Análise de variância para os casos de outono.

Estação meteorológica	ANOVA para o outono	
	F	p
Joinville	3,13256 ^s	0,02849 ^s
Indaial	3,88356 ^s	0,01077 ^s
Itajaí	4,90907 ^s	0,00298 ^s
Lages	2,85519 ^s	0,03988 ^s
São Joaquim	2,48878 ^{ns}	0,06347 ^{ns}

^s – Diferença significativa ao nível de significância de 5%;

^{ns} – Não significativo ao nível de significância de 5%.

Tabela 10: Teste a posterior de Tukey para comparação das médias do V_{obs} entre os quartis da D no outono.

	1º quartil	2º quartil	3º quartil	4º quartil
Estação meteorológica de Joinville				
Média V_{obs} (m.s ⁻¹)	0,32333	0,48148	0,51613	1,1407
1º quartil		0,944679 ^{ns}	0,895910 ^{ns}	0,024655 ^s
2º quartil	0,944679 ^{ns}		0,999407 ^{ns}	0,113692 ^{ns}
3º quartil	0,895910 ^{ns}	0,999407 ^{ns}		0,125661 ^{ns}
4º quartil	0,024655 ^s	0,113692 ^{ns}	0,125661 ^{ns}	
Estação meteorológica de Indaial				
Média V_{obs} (m.s ⁻¹)	1,8788	1,2188	1,4063	2,7188
1º quartil		0,508723 ^{ns}	0,754238 ^{ns}	0,291517 ^{ns}
2º quartil	0,508723 ^{ns}		0,979803 ^{ns}	0,009668 ^s
3º quartil	0,754238 ^{ns}	0,979803 ^{ns}		0,031853 ^s
4º quartil	0,291517 ^{ns}	0,009668 ^s	0,031853 ^s	
Estação meteorológica de Itajaí				
Média V_{obs} (m.s ⁻¹)	1,2121	1,3929	1,9	2,5938
1º quartil		0,970138 ^{ns}	0,311383 ^{ns}	0,003276 ^s
2º quartil	0,970138 ^{ns}		0,611332 ^{ns}	0,019870 ^s
3º quartil	0,311383 ^s	0,611332 ^{ns}		0,310408 ^{ns}
4º quartil	0,003276 ^s	0,019870 ^s	0,310408 ^{ns}	
Estação meteorológica de Lages				
Média V_{obs} (m.s ⁻¹)	1,3333	0,90625	1,1563	1,9063
1º quartil		0,620457 ^{ns}	0,958693 ^{ns}	0,365448 ^{ns}
2º quartil	0,620457 ^{ns}		0,895973 ^{ns}	0,025415 ^s
3º quartil	0,958693 ^{ns}	0,895973 ^{ns}		0,150246 ^{ns}
4º quartil	0,365448 ^{ns}	0,025415 ^s	0,150246 ^{ns}	

^s – Diferença significativa ao nível de significância de 5%.

^{ns} – Não significativo ao nível de significância de 5%

Ao comparar os valores do V_{obs} em São Joaquim, durante o inverno (Figura 20) com as demais estações meteorológicas observa-se que para todos os quartis, os valores de média, desvio padrão e V_{obs} máximo são sempre maiores, especialmente nos ciclones mais profundos (Tabela 12). Lages, embora também pertença à mesorregião Serrana, está a sotavento de São Joaquim, com sua estação situada a 937 m, registrando valores médios de V_{obs} menores que na estação de Itajaí que está próxima do litoral e com altitude de 5 m (Figura 20). Isto ressalta não apenas a importância da altitude, mas também o aspecto e orientação do relevo no V_{obs} . Além disso, as estações mais próximas da costa e sem barreiras orográficas, são bastante afetadas pelos sistemas ciclônicos que se deslocam pelo litoral Sul do Brasil.

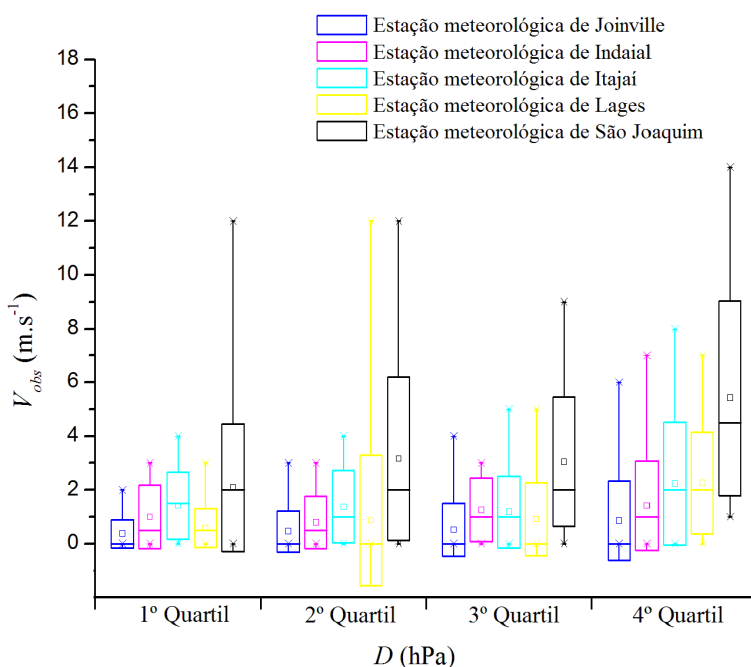


Figura 20: Média (□), mediana (— no interior da caixa), desvio padrão acima e abaixo da média (caixa), percentis de 1 % (× inferior) e 99 % (× superior) e valores mínimo (⊥) e máximo (⊤) do vento observado (V_{obs}) no inverno para as estações meteorológicas como uma função do 1º, 2º, 3º e 4º quartil da profundidade do ciclone D (hPa).

A análise de variância para as estações meteorológicas de Joinville, Indaial e Itajaí (Tabela 11) mostra que a ocorrência de ventos, ocasionados por ciclones extratropicais que se deslocam próximo ao litoral catarinense, não se difere entre os ciclones mais fracos e os mais fortes. No entanto, nas estações localizadas mais ao sul, com maiores altitudes, como é o caso de Lages e São Joaquim, a ocorrência de ventos é fortemente influenciada pelos ciclones mais fortes (4º quartil), e isto pode ser verificado através da tabela 12, onde a média do V_{obs} no quarto quartil diferencia dos demais quartis da D .

Tabela 11: Análise de variância para os casos de inverno.

Estação meteorológica	ANOVA para o outono	
	F	p
Joinville	0,97255 ^{ns}	0,40969 ^{ns}
Indaial	1,1255 ^{ns}	0,34301 ^{ns}
Itajaí	1,8587 ^{ns}	0,14246 ^{ns}
Lages	4,49690 ^s	0,00546 ^s
São Joaquim	5,64739 ^s	0,00136 ^s

^s – Diferença significativa ao nível de significância de 5%.

^{ns} – Não significativo ao nível de significância de 5%.

Tabela 12: Teste a posteriori de Tukey para comparação das médias do V_{obs} entre os quartis da D no inverno.

	1º quartil	2º quartil	3º quartil	4º quartil
Estação meteorológica de Lages				
Média V_{obs} (m.s ⁻¹)	1,46154	1,08	1,08	2,04
1º quartil		0,935590 ^{ns}	0,912739 ^{ns}	0,006270 ^s
2º quartil	0,935590 ^{ns}		0,999863 ^{ns}	0,033711 ^s
3º quartil	0,912739 ^{ns}	0,999863 ^{ns}		0,044292 ^s
4º quartil	0,006270 ^s	0,033711 ^s	0,044292 ^s	
Estação meteorológica de São Joaquim				
Média V_{obs} (m.s ⁻¹)	2,08333	3,16667	3,04348	5,41667
1º quartil		0,571614 ^{ns}	0,671364 ^{ns}	0,000926 ^s
2º quartil	0,571614 ^{ns}		0,998978 ^{ns}	0,042783 ^s
3º quartil	0,671364 ^{ns}	0,998978 ^{ns}		0,031597 ^s
4º quartil	0,000926 ^s	0,042783 ^s	0,031597 ^s	

^s – Diferença significativa ao nível de significância de 5%.

^{ns} – Não significativo ao nível de significância de 5%.

Semelhanças no comportamento do V_{obs} são verificadas em Indaial e Itajaí durante a primavera (Figuras 21), sendo que em Itajaí os valores de V_{obs} máximo, no segundo e quarto quartil, são pouco maiores que aos valores observados em Indaial. A análise de variância seguida do teste a posterior de Tukey (Tabelas 13 e 14), mostra que existe diferenças significativas nas médias de V_{obs} entre os ciclones do segundo e quarto quartil da D , nas estações de Indaial e Urussanga, e no terceiro e quarto quartil em Itajaí. Entretanto, não há diferenças entre as médias do V_{obs} entre os ciclones mais fracos (1º quartil) e os mais fortes (4º quartil). Itajaí na foz do Rio Itajaí está muito mais suscetível ao vento, enquanto Indaial, no médio vale está mais exposta que Urussanga devido a maior altitude em que se encontra.

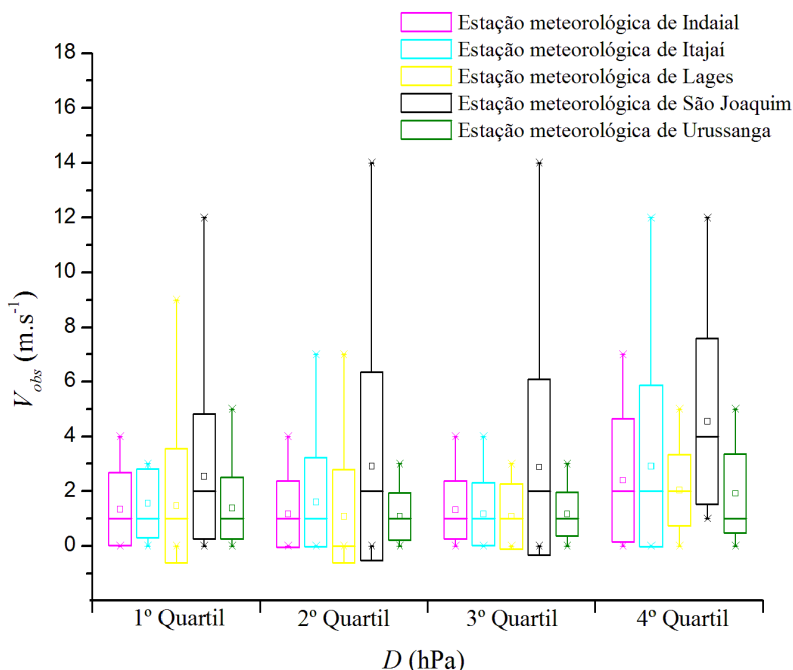


Figura 21: Média (\square), mediana (— no interior da caixa), desvio padrão acima e abaixo da média (caixa), percentis de 1 % (\times inferior) e 99 % (\times superior) e valores mínimo (\perp) e máximo (\top) do vento observado (V_{obs}) na primavera para as estações meteorológicas como uma função do 1º, 2º, 3º e 4º quartil da profundidade do ciclone D (hPa).

A localização de Urussanga nas proximidades da escarpa da Serra Geral, numa região de topografia bastante compartimentada, contribui para que o V_{obs} apresente um comportamento bastante influenciado pelos fatores locais, tais como o relevo na região em torno da estação meteorológica. Isto pode ser observado através da figura 21, onde o V_{obs} em Urussanga durante a primavera apresenta os menores valores de média e V_{obs} máximo, especialmente no quarto quartil, quando se compara com as demais estações meteorológicas.

Nas estações de Lages e São Joaquim, embora os valores de média de V_{obs} sejam pouco maiores no quarto quartil da D , a análise de variância (Tabela 13) mostra que não há diferenças significativas entre as médias de V_{obs} .

A análise do V_{obs} como uma função da D dos ciclones durante a primavera nos permite concluir, que os ciclones mais fortes (4º quartil) irão ocasionar maiores valores de V_{obs} nas estações meteorológicas que estão mais próximas do litoral, onde os efeitos de brisas, mais intensos na primavera, que se somando aos ventos provenientes dos ciclones, resultarão em maiores velocidades de V_{obs} .

Tabela 13: Análise de variância para os casos de primavera.

Estação meteorológica	ANOVA para o outono	
	F	p
Indaial	3,43091 ^s	0,02005 ^s
Itajaí	4,12749 ^s	0,00846 ^s
Lages	1,97156 ^{ns}	0,12332 ^{ns}
São Joaquim	2,27392 ^{ns}	0,08482 ^{ns}
Urussanga	3,01646 ^s	0,03362 ^s

^s – Diferença significativa ao nível de significância de 5%.

^{ns} – Não significativo ao nível de significância de 5%.

Tabela 14: Teste a posteriori de Tukey para comparação das médias do V_{obs} entre os quartis da D no primavera.

	1º quartil	2º quartil	3º quartil	4º quartil
Estação meteorológica de Indaial				
Média V_{obs} (m.s ⁻¹)	1,34615	1,16	1,32	2,4
1º quartil		0,972743 ^{ns}	0,999930 ^{ns}	0,074612 ^{ns}
2º quartil	0,972743 ^{ns}		0,982886 ^{ns}	0,026685 ^s
3º quartil	0,999930 ^{ns}	0,982886		0,068415 ^{ns}
4º quartil	0,074612 ^{ns}	0,026685 ^s	0,068415 ^{ns}	
Estação meteorológica de Itajaí				
Média V_{obs} (m.s ⁻¹)	1,56	1,6	1,16	2,92
1º quartil		0,999868 ^{ns}	0,876549 ^{ns}	0,058792 ^{ns}
2º quartil	0,999868 ^{ns}		0,842584 ^{ns}	0,070455 ^v
3º quartil	0,876549 ^{ns}	0,842584 ^{ns}		0,007395 ^s
4º quartil	0,058792 ^{ns}	0,070455 ^{ns}	0,007395 ^s	
Estação meteorológica de Urussanga				
Média V_{obs} (m.s ⁻¹)	1,38462	1,08	1,16	1,92
1º quartil		0,751012 ^{ns}	0,882497 ^{ns}	0,302031 ^{ns}
2º quartil	0,751012 ^{ns}		0,993911 ^{ns}	0,037704 ^s
3º quartil	0,882497 ^{ns}	0,993911 ^{ns}		0,071943
4º quartil	0,302031 ^{ns}	0,037704 ^s	0,071943 ^{ns}	

^s – Diferença significativa ao nível de significância de 5%.

^{ns} – Não significativo ao nível de significância de 5%.

6.3 FREQUÊNCIA DE CICLONES EXTRATROPICAIS

Utilizando um período de 53 anos de dados de pressão ao nível do mar, foi possível identificar através do esquema automático de identificação e rastreamento de ciclones o número de ocorrência de ciclones extratropicais na área compreendida entre as latitudes de 15°S e 40°S e longitudes de 38°W e 58°W. O esquema foi utilizado para toda série de dados (1957-2009) e também para análises sazonais, onde foi obtida uma grande quantidade de resultados que foram resumidos em forma de tabelas e gráficos a fim de facilitar sua interpretação.

Na tabela 15 é mostrado o número de ocorrências de ciclones extratropicais durante o período analisado para as respectivas áreas descritas no item 5.4. A média de ocorrência de ciclones para a A_T é de

225 ciclones por ano; latitudinalmente as áreas A1 e A5 são as regiões com a menor frequência de ocorrência de ciclones extratropicais.

Sazonalmente verifica-se que o verão e primavera são as estações onde há maior ocorrência de ciclones extratropicais na A_T (Tabela 16), concordando com os resultados apresentados por Satyamurty et al (1990), Murray e Simmonds (1991 b), Ribeiro e Saraiva (2006) e Reboita (2008).

A identificação das fases quente e fria do índice de Oscilação Decadal do Pacífico (ODP), para posteriormente comparar com as séries temporais de Anomalia de ocorrência de Ciclones (AC) são apresentadas na figura 22. É possível identificar a ocorrência de duas fases completas da ODP durante o século passado. A fase fria da ODP, representada em azul, ocorreu entre os anos de 1957 e 1976, e a fase quente, em vermelho, de 1977 a 1998. Tudo indica que a partir de 1999 iniciou uma nova fase fria, sendo que a fase quente ocorrida entre 2002 e 2006 parece ter sido uma fase de transição (MOLION, 2008).

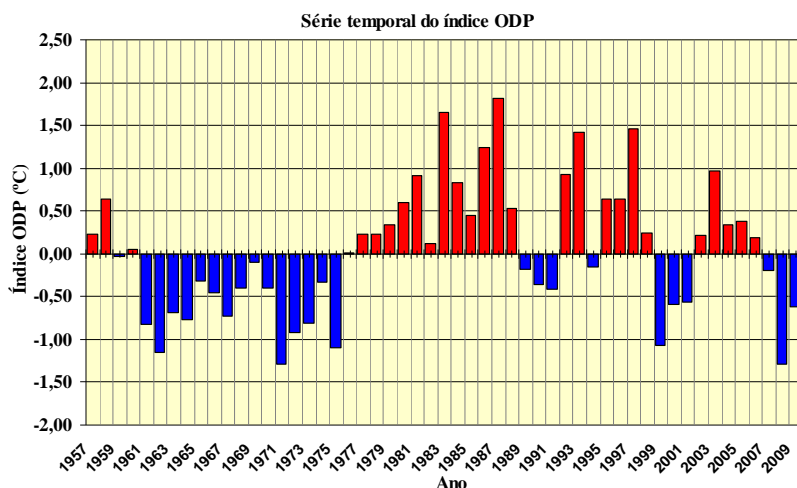


Figura 22: Série Temporal do índice da Oscilação do Pacífico (ODP) para o período de 1957 a 2009.

Fonte: JISAO-NOAA adaptado por Camila de Souza Cardoso.

Tabela 15: Número anual de ciclones em cada área.

ANO	A _T	A1	A2	A3	A4	A5	ANO	A _T	A1	A2	A3	A4	A5	ANO	A _T	A1	A2	A3	A4	A5
1957	209	20	74	74	61	28	1975	222	20	73	72	69	54	1993	225	57	41	50	70	47
1958	236	15	92	76	62	50	1976	219	18	67	68	78	45	1994	205	52	55	40	49	39
1959	178	30	40	50	62	45	1977	231	23	69	50	84	56	1995	238	59	56	62	68	49
1960	196	18	70	57	54	45	1978	243	27	88	64	79	46	1996	258	77	44	78	69	33
1961	193	8	77	55	55	38	1979	218	42	69	72	55	35	1997	251	67	70	58	67	39
1962	232	26	94	67	49	42	1980	216	23	69	66	75	40	1998	240	48	77	75	75	56
1963	196	20	61	67	51	40	1981	211	15	79	69	67	33	1999	251	51	82	60	56	42
1964	208	25	90	41	61	38	1982	201	24	71	56	59	45	2000	261	57	75	59	73	54
1965	217	17	81	53	75	57	1983	252	15	76	93	88	52	2001	231	36	67	56	80	50
1966	220	31	84	54	61	45	1984	242	27	78	84	71	41	2002	266	54	91	53	84	61
1967	215	20	91	46	55	51	1985	271	51	77	81	77	48	2003	225	32	58	61	77	46
1968	219	47	67	44	58	49	1986	228	30	75	62	66	45	2004	216	36	64	66	71	39
1969	222	24	84	64	57	40	1987	233	17	67	77	75	49	2005	245	37	73	74	79	54
1970	216	27	67	66	72	39	1988	177	17	58	46	56	35	2006	237	43	86	52	63	45
1971	197	20	43	70	69	45	1989	182	26	50	63	66	36	2007	261	33	84	69	83	56
1972	222	22	52	81	80	55	1990	205	43	45	62	63	43	2008	226	50	76	60	62	35
1973	250	20	71	84	80	47	1991	220	45	49	66	69	45	2009	237	25	86	65	63	40
1974	241	25	63	81	79	51	1992	216	41	64	39	62	56	Média	225	33	70	63	68	45

Tabela 16: Número de ocorrência de ciclones na A_T conforme a estação do ano.

ANO	Verão	Outono	Inverno	Primavera	ANO	Verão	Outono	Inverno	Primavera	ANO	Verão	Outono	Inverno	Primavera
1957	-	42	52	64	1977	74	38	60	64	1997	84	63	47	77
1958	65	58	47	49	1978	70	57	50	58	1998	78	52	47	58
1959	61	42	41	49	1979	79	46	37	61	1999	74	52	48	72
1960	56	49	39	47	1980	78	49	32	54	2000	88	56	41	68
1961	59	39	39	57	1981	68	57	35	57	2001	79	53	36	70
1962	61	57	36	65	1982	57	47	43	57	2002	80	49	58	78
1963	65	47	42	61	1983	73	60	54	59	2003	92	47	46	55
1964	70	31	28	73	1984	61	69	51	55	2004	72	48	37	57
1965	61	44	40	65	1985	97	57	52	70	2005	70	52	46	76
1966	82	37	43	60	1986	63	49	44	70	2006	62	62	42	76
1967	80	42	45	53	1987	69	53	48	58	2007	56	55	70	64
1968	75	55	31	57	1988	74	40	36	45	2008	82	52	43	60
1969	70	46	46	65	1989	51	42	38	49	2009	76	45	48	66
1970	58	36	54	59	1990	58	46	38	56	Média	70	49	43	62
1971	55	42	26	74	1991	72	42	42	70					
1972	63	54	58	60	1992	79	43	40	59					
1973	62	60	53	58	1993	64	42	36	71					
1974	78	59	43	69	1994	77	42	31	69					
1975	71	49	49	62	1995	63	41	44	74					
1976	64	45	44	62	1996	81	60	35	82					

A Figura 23 mostra a anomalia de ocorrência de ciclones (AC) na A_T , entre 1957 e 2009 e o índice ODP. Observa-se uma tendência de aumento na ocorrência de ciclone na A_T , especialmente a partir de 1983. O maior número de ocorrência de AC negativas ocorre especialmente na fase fria da ODP, enquanto que na fase quente, observam-se mais ocorrências de AC positivas a partir de 1993.

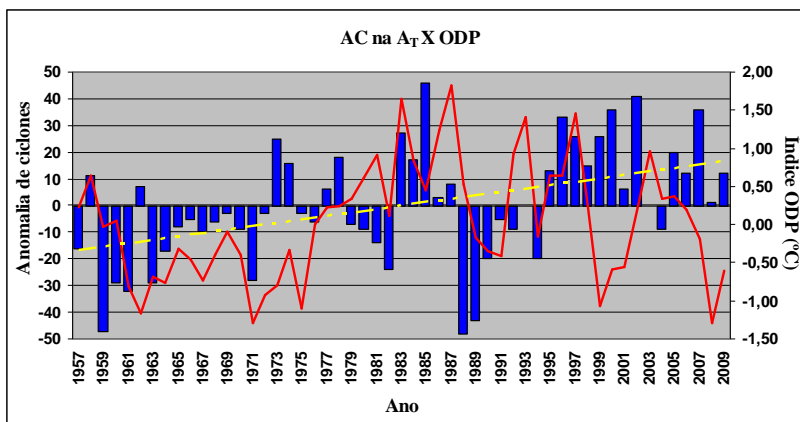


Figura 23: Anomalia de ocorrência de ciclones na área AT (barras em azul) e índice de Oscilação Decadal do Pacífico (linha contínua vermelha). A linha pontilhada amarela representa a linha de tendência de ocorrência de ciclones.

Sinais bastante evidentes no aumento de ocorrência de ciclones são verificados na área A1 a partir de 1990 (Figura 24). Observa-se um maior número de AC negativas durante a fase fria da ODP, enquanto que na segunda metade da fase quente, é verificada maior ocorrência de AC positivas. Na década de 80 é verificada uma pequena faixa de AC positivas entre os anos de 1983 e 1987. Nos trabalhos apresentados por Satyamurty et al. (1990) e Gan e Rao (1991) os autores destacam o aumento na ocorrência de ciclogêneses nos anos de El Niño de 1983 e 1987.

Nas áreas A2, A3 e A5 não há uma tendência de aumento na ocorrência de ciclones (Figuras 25, 26 e 28). As anomalias parecem ocorrer de forma cíclica, especialmente na área A5, com isso não é verificado nenhum padrão que possa ser comparado com as fases fria e quente da ODP. Entretanto, para a área A2 houve uma faixa de anomalias negativas entre os anos de 1987 e 1996, que corresponde à segunda metade da fase quente.

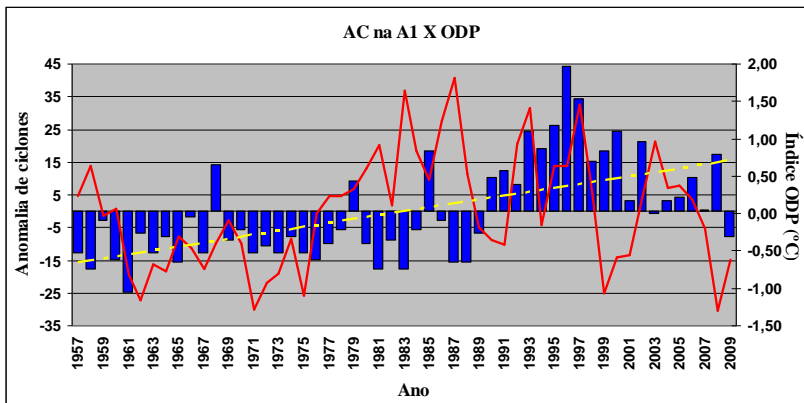


Figura 24: Anomalia de ocorrência de ciclones na área A1 (barras em azul) e índice de Oscilação Decadal do Pacífico (linha contínua vermelha). A linha pontilhada amarela representa a linha de tendência de ocorrência de ciclones.

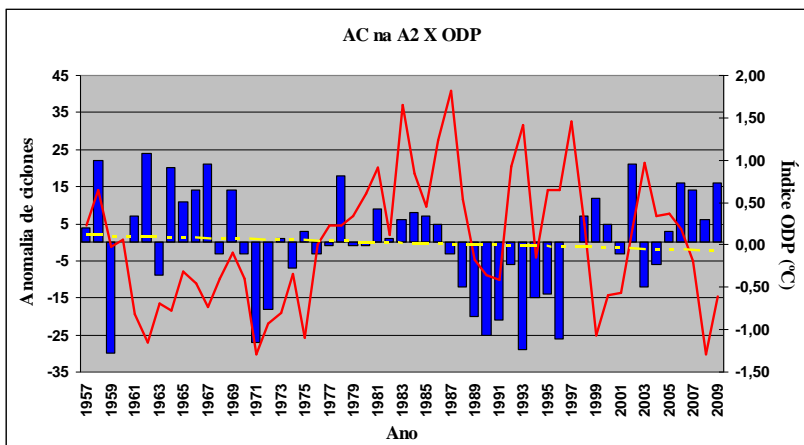


Figura 25: Anomalia de ocorrência de ciclones na área A2 (barras em azul) e índice de Oscilação Decadal do Pacífico (linha contínua vermelha). A linha pontilhada amarela representa a linha de tendência de ocorrência de ciclones.

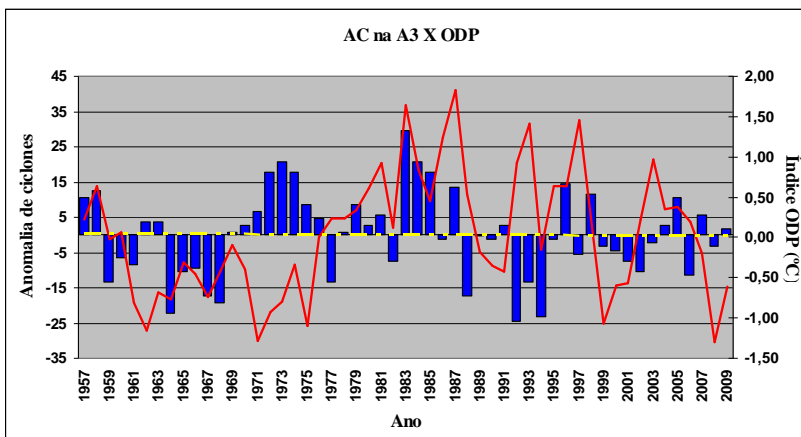


Figura 26: Anomalia de ocorrência de ciclones na área A3 (barras em azul) e índice de Oscilação Decadal do Pacífico (linha contínua vermelha). A linha pontilhada amarela representa a linha de tendência de ocorrência de ciclones.

Na área A4 percebe-se uma pequena tendência de aumento de ocorrência de ciclones, a partir de 1986 (Figura 27). Anomalias negativas concentram-se, especialmente entre os anos de 1957 a 1969, coincidindo com a fase fria da ODP.

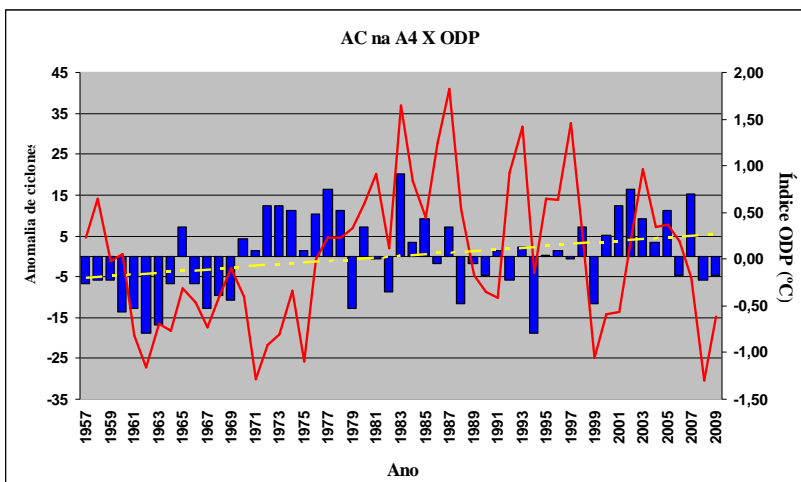


Figura 27: Anomalia de ocorrência de ciclones na área A4 (barras em azul) e índice de Oscilação Decadal do Pacífico (linha contínua vermelha). A linha pontilhada amarela representa a linha de tendência de ocorrência de ciclones.

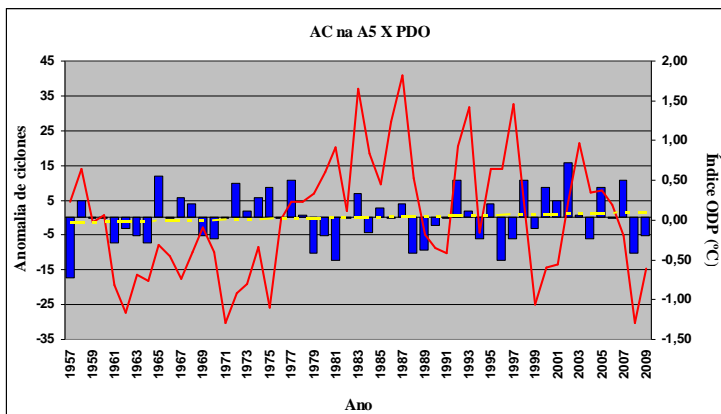


Figura 28: Anomalia de ocorrência de ciclones na área A5 (barras em azul) e índice de Oscilação Decadal do Pacífico (linha contínua vermelha). A linha pontilhada amarela representa a linha de tendência de ocorrência de ciclones.

Sazonalmente, verifica-se que durante o verão e primavera existe uma pequena tendência de aumento na ocorrência de ciclones a partir do início da década de 80 (Figuras 29 e 30). Para ambas as estações do ano são verificadas maior ocorrência de AC negativas durante a fase fria da ODP.

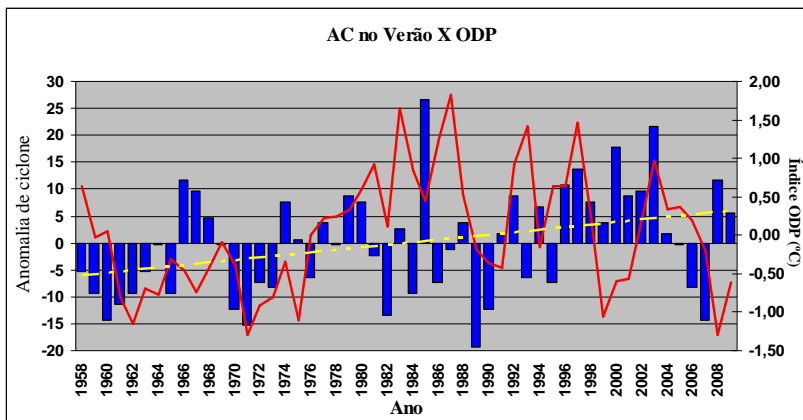


Figura 29: Anomalia de ocorrência de ciclones na área AT para o verão (barras em azul) e índice de Oscilação Decadal do Pacífico (linha contínua vermelha). A linha pontilhada amarela representa a linha de tendência de ocorrência de ciclones.

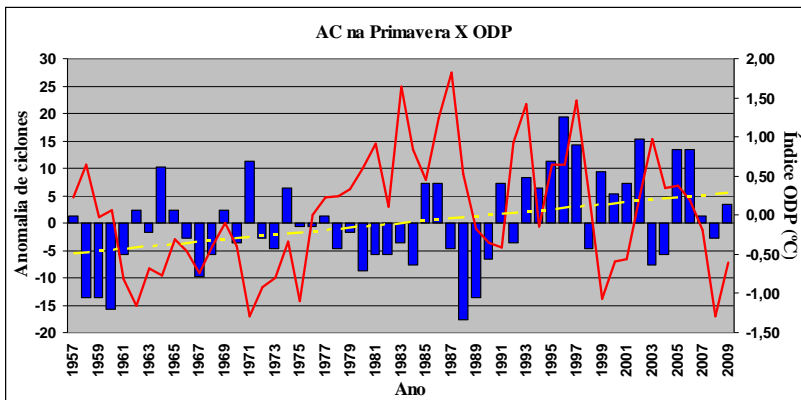


Figura 30: Anomalia de ocorrência de ciclones na área AT para o primavera (barras em azul) e índice de Oscilação Decadal do Pacífico (linha contínua vermelha). A linha pontilhada amarela representa a linha de tendência de ocorrência de ciclones.

Durante o outono são verificadas uma faixa de AC negativas, entre os anos de 1988 e 1995, e uma marcante tendência de AC positivas a partir de 1996 (Figura 31). Além disso, observa-se que na fase fria da ODP há maior ocorrência de AC negativas.

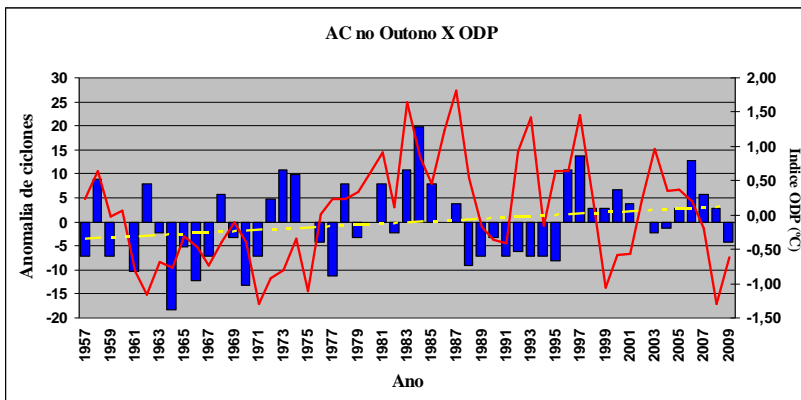


Figura 31: Anomalia de ocorrência de ciclones na área AT para o outono (barras em azul) e índice de Oscilação Decadal do Pacífico (linha contínua vermelha). A linha pontilhada amarela representa a linha de tendência de ocorrência de ciclones.

Analisando a figura 32, percebe-se que não há uma relação da ODP com a ocorrência de ciclones durante o inverno. Porém é interessante destacar um alto valor de anomalias positivas no ano de 2007, e este caso ocorre na fase de transição da ODP.

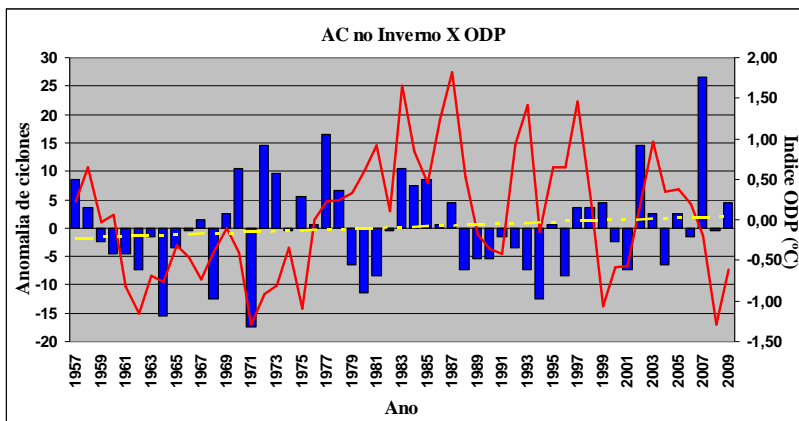


Figura 32: Anomalia de ocorrência de ciclones na área AT para o inverno (barras em azul) e índice de Oscilação Decadal do Pacífico (linha contínua vermelha). A linha pontilhada amarela representa a linha de tendência de ocorrência de ciclones.

CONCLUSÕES

A partir da identificação dos ciclones extratropicais por meio do esquema automático de identificação e rastreamento proposto por Murray e Simmonds (1991a, b) e avaliações do comportamento da precipitação e do vento, observados em sete estações meteorológicas convencionais distribuídas no setor leste catarinense, foi possível verificar que os ciclones atuam nas proximidades do litoral de Santa Catarina o ano inteiro, contudo nem sempre ocasionam influência significativa no vento e na precipitação. As análises mostraram que estatisticamente não há relação direta e exclusiva da profundidade do ciclone com a precipitação. Sugere-se que a ocorrência de precipitação esteja relacionada com a perturbação de médios e altos níveis da atmosfera, a qual posteriormente favorecerá a ciclogênese em superfície.

Os resultados das associações da profundidade do ciclone com o vento observado mostraram que estatisticamente os ciclones extratropicais influenciam a ocorrência de ventos no setor leste de SC, sendo necessário levar em consideração os efeitos produzidos pelo relevo, altitude, latitude e maritimidade. A estação de São Joaquim destacou-se por apresentar as melhores associações em todas as análises realizadas e este resultado pode estar relacionado com a altitude da estação, que favorece a ocorrência de ventos mais intensos.

A análise da D e V_{obs} quando separada em quartis, mostrou que os ciclones mais profundos ocasionam maiores valores no V_{obs} , no entanto nas estações meteorológicas de Joinville e Urussanga não há diferenças significativas na média do V_{obs} entre os quartis da D . Constatou-se que rajadas intensas de vento podem ocorrer durante toda a ciclogênese.

Sazonalmente, verifica-se que o verão é a estação do ano em que os ciclones exercem menor influência no V_{obs} , sendo a estação de São José uma exceção. Possivelmente o efeito de brisas somado aos ventos provenientes dos ciclones faz com que nesta época do ano as correlações entre a D e o V_{obs} se tornem uma exceção em São José.

Os resultados aqui apresentados são bastante importantes para avaliar o efeito dos ciclones extratropicais na ocorrência de ventos no setor leste catarinense, além disso, foi possível perceber que as particularidades existentes em cada estação meteorológica contribuem para a ocorrência de ventos, mesmo que haja presença de ciclones extratropicais no litoral de SC. No entanto, não foi possível verificar os efeitos dos ciclones extratropicais na ocorrência de precipitação, sugerindo que avaliações mais detalhadas necessitam ser levadas em consideração.

As análises da frequência de ocorrência de ciclones extratropicais para o Sul do Brasil e região oceânica adjacente entre os anos de 1957 – 2009 mostraram que existe uma variabilidade sazonal na ocorrência de ciclones extratropicais, sendo que nos meses de primavera e verão os ciclones são mais frequentes. Das regiões analisadas verificou-se que as regiões preferenciais para ocorrência de ciclones são as faixas latitudinais entre 20° S e 35° S, com um máximo entre 20° S e 25° S. A partir da década de 80 foi possível verificar um aumento na ocorrência de ciclones, sendo que nas faixas latitudinais entre 15-20° S houve um aumento médio de 20 ciclones por ano. Sazonalmente, houve um aumento de ocorrência de ciclones durante a primavera e verão.

Para toda a região analisada verificou-se que durante a fase fria da ODP ocorreu um maior número de anomalias negativas, e na segunda metade da fase quente ocorreu maior número de anomalias positivas. Separando por faixas latitudinais não foi possível verificar uma relação direta da ODP com a ocorrência de ciclones, porém algumas semelhanças foram encontradas nas faixas entre 15-20° S e 30°-35° S.

Conclui-se que os ciclones extratropicais são bastante frequentes nas proximidades do estado de Santa Catarina, onde o relevo bastante complexo em todo setor leste do estado associado com a proximidade do oceano Atlântico interferem no comportamento do vento. Embora não tenha sido encontrada relação estatística entre a precipitação e os ciclones, sabe-se que muitas vezes estes sistemas ocasionam elevados volumes pluviométricos que causam diversos prejuízos na região.

REFERÊNCIAS

ANDRADE, Kelen Martins. **Climatologia e comportamento dos sistemas frontais sobre a América do Sul**. 2005. 185 f. Dissertação de Mestrado (Mestrado) - INPE, São José Dos Campos, 2005.

BEU, Cássia Maria Leme; AMBRIZZI, Tércio. Variabilidade Interanual e Intersazonal da Frequência de Ciclones no Hemisfério Sul. **Revista Brasileira de Meteorologia**, São Paulo, v. 21, n. 1, p.44-55, abr. 2006.

BITENCOURT, D.; et al.. Relating winds along the Southern Brazilian coast to extratropical cyclones. **Meteorological Applications** (Print), v. 17, p. 10.1002/met. 232, 2010.

BJERKNES, J.. On the Structure of Moving Cyclones. **Geof. Publ.**, v. **1**, n. 2, p. 1-8, 1919.

BJERKNES, J.; SOLBERG, H. Life Cycle of Cyclones and the Polar Front Theory of Atmospheric Circulation. **Geof. Publ.**, v. 3, n.1, p. 3-18, 1922.

BRAGA, R. H. M. **Um estudo climatológico da Interação Trópicos-Extratropicos através do Jato de Baixos Níveis**. 2006. 86 f. Dissertação de Mestrado (Mestrado) – IAG/USP, São Paulo, 2006.

BROOKS, H. E.; LEE, J. W.; CRAVEN, J. P. The spatial distribution of severe thunderstorm and tornado environments from global reanalysis data. **Atmos. Res.**, v. 67-68, p. 73-94, 2003.

BROOKS, H. E; DOTZEK, N. The spatial distribution of severe convective storms and an analysis of their secular changes. **Climate Extremes and Society**, p. 1-24, 2007.

BLUESTEIN, Howard B.. **Synoptic-Dynamic Meteorology in Midlatitudes: Principles of Kinematics and Dynamics**. New York: Oxford University Press, 1992. 431 p.

CARDOSO, Camila de Souza; CRUZ, Gilsânea de Souza ; CALEARO, Daniel Sampaio. Análise da Tromba d'Água de 02 de março de 2008 em Florianópolis/SC. 2008. In: XV CONGRESSO BRASILEIRO DE METEOROLOGIA, 2008. São Paulo, 2008.

CASARIN, D. P.; KOUSKY, V. E. Anomalias de precipitação no sul do Brasil e variações na circulação atmosférica. **Revista Brasileira de Meteorologia**, v.1, n. 2, p. 83-90, dez. 1986.

CAVALCANTI, I. F. A.; KOUSKY, V. E. Climatology of South American cold fronts. In : VII INTERNATIONAL CONFERENCE ON SOUTHER HEMISPHERE METEOROLOGY AND OCEANOGRAPHY, 2003, Wellington, New Zealand. 1 CD-ROM.

COFM. II Colóquio Internacional sobre Seguridad y Condiciones de Vida em los Buques de Pesca, Centro de Ocupação e Formação Marítima de Bamio / Espanha / CEE, 1992.

CRUZ, G. S. **Manutenção zonal da corrente de jato sobre a América do Sul**. 2001. 100p. Dissertação (Mestrado em Meteorologia) – Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, São José dos Campos, 2001.

CUNHA, Davi Gasparini Fernandes; VECCHIA, Francisco Arthur Silva. As abordagens clássica e dinâmica de clima: uma revisão bibliográfica aplicada ao tema da compreensão da realidade climática. **Ciência e Natura**, v. 29, p. 137-149, 2007.

FERREIRA, C. C. **Ciclogêneses e ciclones extratropicais na região sul-sudeste do Brasil e suas Influencias no tempo**. 1988. 118 f. Dissertação (Mestrado em Meteorologia) - Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, São José dos Campos, 1988.

FEDOROVA, Natalia. **Meteorologia Sinótica**: volume 2. Pelotas: Ed. Universitária, 2001, 242 p.

FUNATSU, M.B. **Estudo sinótico dinâmico de uma ciclogênese usando vorticidade potencial**. Dissertação de Mestrado em Meteorologia. São José dos Campos, INPE, 2000.

FUENTES, M. V. **Bloqueios - CLIMANÁLISE**. Edição especial de 10 anos, 1996 Disponível em:
<http://www.cptec.inpe.br/products/climanalise/cliesp10a-> Acesso em: 20/03/2010.

FUENTES, M. V. **Dinâmica e padrões de precipitação de neve no Sul do Brasil**. 2009. 191 f. Tese de Doutorado (Doutorado em Geociências), Instituto de Geociências, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2009.

GAN, M.A. **Um estudo observacional sobre as baixas frias da alta troposfera, nas latitudes subtropicais do Atlântico Sul e Leste do Brasil**. 1982. 80 f. Dissertação de Mestrado (Mestrado em Meteorologia), Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, São José dos Campos, 1982.

GAN, M. A.; SELUCHI, M. Ciclones e ciclogênese. In: Iracema F. A. Cavalcanti; Nelson J. Ferreira; Maria Assunção F. Dias; Maria Gertrudes A. Justi. (Org.). **Tempo e Clima no Brasil**. ed. São Paulo: Oficina de textos, 2009, v. 1, p. 1-464.

GAN, M. A.; RAO, V. B.. Surface Cyclogenesis over South América. **Monthly Weather Review**, v. 119, n. 5, p. 1293 – 1302, 1991.

GARBELL, M. A., 1947: **Tropical and Equatorial Meteorology**. New York, Pitman Publishing Corporation, 237 p.

HAAS, R. **Simulações de chuva orográfica associada a um ciclone extratropical no Litoral Sul do Brasil**. 2002. 200f. Tese de Doutorado (Doutorado em Meteorologia). IAG/USP, São Paulo, 2002.

HEMER, M. A.; SIMMONDS, I.; KEAY, K.: A classification of wave generation characteristics during large wave events on the Southern Australian margin. **Continental Shelf Research**, v. 28, p. 634-652, 2008.

HOLTON, J. R. **An introduction to dynamic meteorology**. 3.ed. 1992.

JUSTI DA SILVA, M.G.A.; SILVA DIAS, M.A.F. A frequência de fenômenos meteorológicos na América do Sul: uma climatologia. In: XII CONGRESSO BRASILEIRO DE METEOROLOGIA, 2002. Anais... Foz do Iguaçu: SBMET, 2002.

KALNAY, E. et al.. The NCEP/NCAR 40-Year Reanalysis Project. **Bulletin of the American Meteorological Society**, v. 77, n. 3, p. 437 - 471, 1996.

KOUSKY, V.; CAVALCANTI, I. F. A. Eventos Oscilação Sul - El Niño: Características, Evolução e Anomalias de Precipitação. **Ciência e cultura**, v.36, n.11, p. 1888-1889, Nov. 1984.

LEMOS, C.F.; CALBETE, N. O. **Sistemas frontais que atuaram no litoral de 1987-1995**. Climanálise, Edição comemorativa 10 anos, 1996. Disponível em:
<http://climanalise.cptec.inpe.br/~rclimanl/boletim/cliesp10a/14.html> Acesso em: 12 de março de 2010.

LIM, E.-P.; SIMMONDS, I.: Southern Hemisphere winter extratropical cyclone characteristics and vertical organization observed with the ERA-40 reanalysis data in 1979-2001. **Journal of Climate**, v. 20, p. 2675-2690, 2007.

LIMA, E. C. S. M. S. **Análise de um Complexo Convectivo de Mesoescala (CCM) observado na região norte da Argentina no dia 27 de novembro de 2002: Um estudo de caso utilizando o modelo RAMS**. 2004. 94 f. Dissertação de Mestrado (Mestrado em Meteorologia). Universidade Federal de Pelotas, Pelotas, 2004.

MARENGO, J.; CORNEJO, A.; SATYAMURTY, P.; NOBRE, C.A.; SEA, W. Cold surges in tropical and extratropical South America: The strong event in june 1994. **Monthly Weather Review**, v. 125, n.11, p. 2759-2786, Nov. 1997.

MAXWELL, D. L.; SATAKE, E. Research and statistical methods in communication disorders. USA: William & Wilkins, 1997.

MENDES, D. **Regimes de circulação no Atlântico Sul e sua relação com a localização e intensidade de sistemas activos e com o balanço de vapor na região**. 2006. 115f. Tese de Doutorado (Doutorado em Física), Universidade de Lisboa, Portugal, 2006.

MENDES, M.C. D.; TRIGO, R.M.; DA CAMARA, C.C.: Comparação entre os episódios de bloqueios atmosféricos no oceano atlântico norte e sul durante o período de 1960 a 2000. In: XXVIII JORNADAS CIENTÍFICAS DA ASOCIACIÓN METEOROLÓGICA DE ESPAÑA, Fevereiro 2004, Badajoz, Espanha.

MENDES, D.; E. P. SOUZA; I. F. TRIGO; P. M. A. MIRANDA. On precursors of South American Cyclogenesis. **Tellus**, v. **59A**, p. 114-121, 2007.

MOLION, L. C. B. Tendências do clima nas próximas duas décadas. In: V SEMANA DO MEIO AMBIENTE, 3 a 5 de junho de 2008, Recife. Disponível em: <http://www.fundaj.gov.br/geral/VSMA/VSMA2008_2311.pdf>. Acesso em: 22 abr. 2010.

MONTEIRO, C. A. F. Da necessidade de um caráter genético à classificação climática (Algumas considerações metodológicas a propósito do Brasil Meridional). **Revista Geográfica**. Rio de Janeiro, IPGH, v. 57, n. 31, p. 29-44, 1962.

_____. **Clima**. In: Grande Região Sul. Geografia do Brasil, vol IV. Tomo I, 2ª ed. Cap III, IBGE, Rio de Janeiro. 1968. p. 115-158.

_____. **Teoria e Clima Urbano**. São Paulo, Instituto de Geografia da USP, 1976. 181 p.

MONTEIRO, M. A. Caracterização climática do estado de Santa Catarina: uma abordagem dos principais sistemas atmosféricos que atuam durante o ano. **Revista Geosul**. Departamento de Geociências da UFSC, Florianópolis, v. 16, nº 31, p 69-78. 2001.

_____. **Dinâmica Atmosférica e Caracterização dos Tipos de Tempo na Bacia Hidrográfica do Rio Araranguá**. 2007. 224F. Tese (Doutorado em Geografia) – Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2007.

Municípios, 2011 – Disponível em: <www.sc.gov.br/portalturismo>. Acesso em: 10 de junho de 2011.

MURRAY, R. J.; SIMMONDS, I.: A numerical scheme for tracking cyclone centers from digital data. Part I: Development and operation of the scheme. **Australian Meteorological Magazine**, v. 39, 155-166, 1991a.

_____: A numerical scheme for tracking cyclone centers from digital data. Part II: Application to january and july general circulation model simulations. **Australian Meteorological Magazine**, v. 39, 167-180, 1991b.

NIMER, E. **Climatologia do Brasil**. 2.ed. Rio de Janeiro: Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística, 1979. 421p.

NERY, J. T. Dinâmica Climática da Região Sul do Brasil. **Revista Brasileira de Climatologia**, v.1, nº1, p 61-75, 2005.

NEVES, M. A. S.; CARNEIRO, A. M. M.; PIMENTA, E. G.. Análise Estatística de Acidentes com Barcos de Pesca. In: Congresso da SOBENA, 2002, Rio de Janeiro. Anais do 19º Congresso Nacional de Transportes Marítimos Construção Naval e Offshore. Rio de Janeiro: SOBENA, v. 1, p. 1-13, 2002.

OLIVEIRA, A. S. **Interações entre sistemas frontais na América do Sul e convecção na Amazônia**. 1986. 134p. Dissertação (Mestrado em Meteorologia) – Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, São José dos Campos, 1986.

PETTERSSSEN, S. Motion and motion systems. **Weather analysis and forecasting**. New York, McGraw Hill Book Co., v. 1, p. 428, 1956.

PETTERSSSEN, S., SMEBYE, S. On the development of extratropical cyclones. **Quart. J. R. Met. Soc.**, v. 97, p. 457-482, 1971.

PEZZA, A. B.: **Ondas de frio na América do Sul e as trajetórias dos ciclones e anticiclones extratropicais: Climatologia sinótica**. 2003. 369f. Tese (Doutorado em Meteorologia) - Universidade de São Paulo, São Paulo, SP, 2003.

PEZZA, A. B.; AMBRIZZI, T.: Variability of Southern Hemisphere Cyclone and Anticyclone Behavior: Further Analysis. **J. Climate**, v. 16, p. 1075-1083, 2003

_____: Ondas de frio na América do Sul e temperaturas geladas em São Paulo: análise histórica (1888-2003) e estudos de casos e trajetórias de ciclones e anticiclones. **Revista Brasileira de Meteorologia**, v. 20, n. 1, p.141-158, 2005.

PEZZI, L. P.; ROSA, M. B.; BATISTA, N. N. M. **A Corrente de Jato sobre a América do Sul**. Climanálise Especial: edição comemorativa de 10 anos. São José dos Campos-SP, Brasil, INPE/CPTEC, 1996.

PIMENTA F.; KEMPTON W.; GARVINE R.. Combining meteorological stations and satellite data to evaluate the offshore wind power resource of Southeastern Brazil. **Renewable Energy**. v. 33, p. 2375–2387, 2008.

QUADRO, M. F. L.; GONÇALVES, L. G. G DE; VANIN, A. T.; ROCHA, C. A.; SILVA, M. R. DA; LIBERATO, M.. Relação entre Sistemas Meteorológicos e Desastres Naturais Ocorridos em Santa Catarina no ano de 2004. In: XIV CONGRESSO BRASILEIRO DE METEOROLOGIA, 2006, Florianópolis. Anais do XIV Congresso Brasileiro de Meteorologia, 2006.

RAITZ, T. R. Estudo de alguns indicadores do mercado de trabalho formal na mesorregião da Grande Florianópolis. Florianópolis: SINE-SC, 2009.

_____. Estudo de alguns indicadores do mercado de trabalho formal na mesorregião Vale do Itajaí. Florianópolis/SC: SINE/SC, 2009.

_____. Estudo de alguns indicadores do mercado de trabalho formal na mesorregião do Norte. Florianópolis-SC: SINE/SC, 2009.

_____. Estudo de alguns indicadores do mercado de trabalho formal na mesorregião Sul Catarinense. Florianópolis/SC: SINE-SC, 2009.

REBOITA, M. S.: **Ciclones extratropicais sobre o Atlântico Sul: Simulação climática e experimentos de sensibilidade**. 2008.

316p. Tese (Doutorado em Meteorologia) – Universidade de São Paulo, São Paulo, SP, 2008.

ROSA, ROGÉRIO DE O.; HERRMANN, M. LÚCIA DE P. **Geomorfologia**. In: Santa Catarina. GAPLAN. Atlas de Santa Catarina. Rio de Janeiro, Aerofoto Cruzeiro do Sul, 1986.

RODRIGUES, M. L. G. **Uma Climatologia de Frentes Frias no Litoral de Catarinense com Dados de Reanálise do NCEP**. 2003. 75

f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Ambiental) -Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2003.

SANTA CATARINA. 1991. Atlas escolar de Santa Catarina, Secretaria de Estado de Coordenação Geral e Planejamento, Subsecretaria de Estudos Geográficos e Estatísticos. Rio de Janeiro, Ed. Aerofoto Cruzeiro, 96p.

SANT'ANNA NETO, J.L. História da Climatologia no Brasil. **Cadernos Geográficos**, n.6, Florianópolis, Ed. Da UFSC, 2004.

SANTOS, A. F. **Padrões sinóticos de circulação atmosférica associados ao jato em baixos níveis a leste da Cordilheira dos Andes, na América do Sul** . 2006. 252 f. Dissertação (Mestrado em Meteorologia) Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, São José dos Campos, São Paulo, 2006.

SATYAMURTY, P.; FERREIRA, C. C.; GAN, M. A. Cyclonic Vortices over south America. **Tellus**, v. 42, n. 1, p. 194-201, 1990.

SATYAMURTY, P.; NOBRE, C. A.; SILVA DIAS, P. L. (1988) Tropics: South America. In: Southern Hemispheric Meteorology and Oceanography, Meteorological Monographs, 41, American Meteorological Society, Boston, USA, 119-139.

SELUCHI, M., MARENGO, J. A. Tropical-Mid Latitude Exchange of Air Masses during Summer and Winter in South America: Climatic aspects and extreme events. **Int. J. Climatol**, v.20, p.1167-119, 2000.

SERRA, A.; RATISBONNA, L. Massas de Ar na América do Sul. Ministério da Agricultura, Rio de Janeiro, 1942, 59 pp. Ilustr.

SEVERO, D. L. **Estudo de casos de chuvas intensas em Santa Catarina**. 1994. 118p. Dissertação (Mestrado em Meteorologia) – Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, São José dos Campos, 1994.

SEVERO, D. L.; GAN, M. A.; FERREIRA, N. J. Estudo de casos de chuvas intensas associado a enchentes na região do Vale do Itajaí, em Santa Catarina. In. XII CONGRESSO BRASILEIRO DE METEOROLOGIA, Belorizonte, 1994. Anais. São José dos Campos: INPE, 1994. v.2, p. 561-564..

SINCLAIR, M. R. An Objective Cyclone Climatology for the Southern Hemisphere. **Mon. Wea. Rev.**, v. **122**, p. 2239-2256. 1994.

_____. A climatology of cyclogenesis for the Southern Hemisphere. **Mon. Wea. Rev.**, v. **123**, p. 1601-1619, 1995

SIMMONDS, I.; KEAY, K. Mean Southern Hemisphere Extratropical Cyclone Behaviour in the 40-Year NCEP-NCAR Reanalysis. **Journal of Climate**, v. 13, p. 873-885, 2000.

_____: Variability of Southern Hemisphere Extratropical Cyclone Behaviour, 1958-97. **Journal of Climate**, v. 13, 550-561, 2000.

SIMMONDS, I.; MURRAY, R. J.: Southern Extratropical Cyclone Behaviour in ECMWF Analysis during the FROST Special Observing Periods. **Weather and Forecasting**, v. 14, 878-891, 1999.

SIMMONDS, I.; MURRAY, R. J.; LEIGHTON, R. M.: A refinement of cyclone tracking methods with data from FROST. **Australian Meteorological Magazine**, Especial Edition, p. 35-49, 1999.

SPIEGEL, M. R.; SCHILLER, J. J.; SRINIVASAN, A. L. **Schaum's outline of probability and statistics**. New York: McGraw-Hill, 2000.

TALJAARD, J. J. Development, distribution and movement of cyclones and anticyclones in the Southern Hemisphere during IGY. **J. Appl. Meteor.**, v.6, p. 973-987, 1967

TRIOLA, M.F. **Introdução à estatística**. 9ª ed. Rio de Janeiro: LTC, 2005.

VALVERDE RAMIREZ, M. C.; FERREIRA, N. J.; GAN, A. M. Vórtices ciclônicos desprendidos em altos níveis que originam-se no leste do Pacífico Tropical Sul - Parte I : Aspectos Sinóticos Relacionados a sua Formação. In: XI CONGRESSO BRASILEIRO DE METEOROLOGIA, Outubro de 2000, Rio de Janeiro. Anais, 2000.

VALVERDE RAMIREZ, M.C. ; FERREIRA, N. J. ; GAN, A. M. . Vórtices ciclônicos desprendidos em altos níveis que originam-se no leste do Pacífico Tropical Sul. Parte II: Uso de Imagens de Satélites. In:

XI CONGRESSO BRASILEIRO DE METEOROLOGIA, Outubro de 2000, Rio de Janeiro. Anais, 2000.

VAN LOON, H. A. Climatological Study of the Atmospheric Circulation in the Southern Hemisphere during the IGY, Part I: July 1957 - 31 March 1958. **Journal Applied. Meteorology**, v. 4, p. 479-491, 1965.

WANG, X. L.; SWAIL, V. R.; ZWIERS. Climatology and changes of extra-tropical cyclone activity: Comparison of ERA40 with NCEP/NCAR Reanalysis for 1958-2001. **Geophysical Research Abstracts**, v. 8, 2006.

WEBSTER, A. L. **Estatística aplicada à administração e economia**. São Paulo: McGraw- Hill, 2006.

Apêndice A – Dados dos ciclones X Precipitação Acumulada

Data, hora, localização e profundidade do ciclone em cada horário sinótico que foram identificado					Precipitação Acumulada (mm)						
Data (aammdd)*	Hora (UTC) **	Lon (°)	Lat (°)	D (hPa)	Urrus.	SJoa.	Lages	SJosé	Joinv.	Itajaí	Indaial
980115	1200	309,380	-30,430	1,710	1,8	0,1	0	2,6	0	26,1	14,4
980116	600	311,050	-29,600	2,012	0	0	0	0	0	0	0
980116	1200	312,330	-28,750	2,584	0	0	0	0	0	0	0
980116	1800	311,730	-28,300	1,697	6,7	5,3	0	5,2	0,5	0	0
980117	0	312,430	-28,520	2,229	0	7,4	0,4	0	29,8	5,1	0,6
980117	600	311,010	-30,630	2,976	0	0,2	0	0	0	0,1	0
980123	600	311,970	-26,660	1,309	2,5	16,8	0	3,8	0	57,6	14,4
980129	0	312,230	-28,390	1,422	11,6	3,7	1,9	13,8	4	25,7	1,2
980130	600	313,130	-29,460	1,333	0,2	0	0	0,1	8,5	0	0
980131	0	310,820	-29,360	1,374	5	26	1,4	26,8	13	0	63,5
980131	600	311,330	-29,990	1,589	0,5	0,8	0,4	15,4	4,5	41,4	2,2
980201	1800	311,000	-30,440	2,014	0	0,2	0	0,2	0	5,1	12
980202	0	312,760	-30,330	2,816	15,5	21,5	23,2	0,4	0	1	6,4
980205	0	311,390	-30,930	3,992	0	0	0	0	0	0	0
980207	1200	311,480	-30,400	2,187	12,6	56	48,6	4,5	0	0	2,8

* aa- ano; mm – mês; dd- dia.

** UTC – Tempo Universal Coordenado.

Apêndice B – Dados dos ciclones X Vento Observado

Data, hora, localização e profundidade do ciclone em cada horário sinótico que foram identificados					Vento Observado (m.s ⁻¹)						
Data (aammdd) *	Hora (UTC) **	Lon (°)	Lat (°)	D (hPa)	Urrus.	SJoa.	Lages	SJosé	Joinv.	Itajaí	Indaial
980115	1200	309,380	-30,430	1,710	1	4	0,0	0	0	2	3
980116	1200	312,330	-28,750	2,584	1	2	1,0	2,6	0	2	5
980116	1800	311,730	-28,300	1,697	1	2	1,0	0	0	4	3
980117	0000	312,430	-28,520	2,229	1	4	1,0	0,3	0	1	0
980129	0000	312,230	-28,390	1,422	3	0	0,0	3,3	4	1	0
980131	0000	310,820	-29,360	1,374	1	0	3,0	5,8	2		1
980201	1800	311,000	-30,440	2,014	1	5	1,0	2	0	1	0
980202	0000	312,760	-30,330	2,816	3	0	1,0	0	0	2	0
980205	0000	311,390	-30,930	3,992	1	8	1,0	5,3	1	1	1
980207	1200	311,480	-30,400	2,187	3	10	1,0	1,3	0	2	4
980207	1800	312,370	-30,490	1,916	3	10	1,0	1,1	2	1	1
980208	1200	316,590	-29,850	1,602	1	6	3,0	1,3	0	1	1
980218	0000	315,320	-25,500	3,064	1	6	0,0	7	0	1	1

* aa- ano; mm – mês; dd- dia.

** UTC – Tempo Universal Coordenado.

Apêndice D – Resumo estatísticos da série histórica

Quartis da D	N	Média do V_{obs} ($m.s^{-1}$)	Desvio Padrão	Erro Padrão
Estação Meteorológica Joinville				
1º Quartil	115	0,74609	1,20513	0,11238
2º Quartil	113	0,58496	0,94408	0,08881
3º Quartil	114	0,65526	1,04094	0,09749
4º Quartil	111	0,94865	1,53516	0,14571
Estação Meteorológica Indaial				
1º Quartil	121	1,5124	1,62847	0,14804
2º Quartil	120	1,3	1,18534	0,10821
3º Quartil	120	1,29167	1,15516	0,10545
4º Quartil	120	2,08333	1,98136	0,18087
Estação Meteorológica de Itajaí				
1º Quartil	119	1,62185	1,5182	0,13917
2º Quartil	119	1,7395	1,46982	0,13474
3º Quartil	114	1,57018	1,44497	0,13533
4º Quartil	118	2,37288	2,18306	0,20097
Estação Meteorológica de Lages				
1º Quartil	121	1,2562	1,64585	0,14962
2º Quartil	120	0,975	1,56893	0,14322
3º Quartil	120	1,23333	1,35803	0,12397
4º Quartil	120	1,75	1,58379	0,14458
Estação Meteorológica de São Joaquim				
1º Quartil	121	2,41322	2,5517	0,23197
2º Quartil	120	2,81667	2,53043	0,231
3º Quartil	120	3,10833	2,86032	0,26111
4º Quartil	120	4,2	3,07497	0,28071
Estação Meteorológica de Urussanga				
1º Quartil	121	1,36364	1,23153	0,11196
2º Quartil	120	1,18333	1,02066	0,09317
3º Quartil	120	1,16667	0,8435	0,077
4º Quartil	120	1,49167	1,1952	0,10911

Apêndice E – Análise de variância para série histórica **

		Soma dos quadrados	Média dos quadrados	Valor de F	Valor de P
Estação Meteorológica de Joinville					
Modelo	3	8,34716468	2,78238823	1,93069	0,12381
Erro	449	647,069303	1,44113431		
Estação Meteorológica de Indaial					
Modelo	3	49,8077669	16,6025890	7,12570	0,00011
Erro	447	1111,38974	2,32995752		
Estação Meteorológica de Itajaí					
Modelo	3	48,6010457	16,2003486	5,71731	0,00075
Erro	466	1320,43938	2,83356090		
Estação Meteorológica de Lages					
Modelo	3	37,7344738	12,5781579	5,28173	0,00137
Erro	477	1135,94952	2,38144553		
Estação Meteorológica de São Joaquim					
Modelo	3	211,387231	70,4624104	9,22836	0,00001
Erro	477	3642,09718	7,63542385		
Estação Meteorológica de Urussanga					
Modelo	3	8,66398129	2,8879937	2,45721	0,06229
Erro	477	560,625000	1,17531447		

** O teste a posterior de Tukey está no item 6.2.1 desta dissertação.

Apêndice F – Resumo estatísticos dos casos de verão

Quartis da D	N	Média do V_{obs} (m.s ⁻¹)	Desvio Padrão	Erro Padrão
Estação Meteorológica de São José				
1° Quartil	39	3,25897	2,28666	0,36616
2° Quartil	39	3,17692	2,34088	0,37484
3° Quartil	39	4,10513	3,46129	0,55425
4° Quartil	39	4,73333	3,20972	0,51397
Estação Meteorológica de São Joaquim				
1° quartil	39	2,07692	1,6122	0,25816
2° quartil	39	2,94872	2,38359	0,38168
3° quartil	39	3,15385	2,54991	0,40831
4° quartil	39	3,53846	2,61419	0,4186

Apêndice G – Análise de variância para os casos de verão **

São José		Soma dos quadrados	Média dos quadrados	Valor de F	Valor de P
Estação Meteorológica de São José					
Modelo	3	64,1068590	21,3689530	2,59086	0,05492
Erro	152	1253,66923	8,24782389		
Estação Meteorológica de São Joaquim					
Modelo	3	44,7884615	14,9294872	2,76258	0,04407
Error	152	821,435897	5,40418354		

** O teste a posterior de Tukey está no item 6.2.2 desta dissertação.

Apêndice H – Resumo estatísticos dos casos de outono.

Quartis da D	N	Média do V_{obs} ($m.s^{-1}$)	Desvio Padrão	Erro Padrão
Estação Meteorológica Joinville				
1° Quartil	30	0,32333	0,69663	0,12719
2° Quartil	27	0,48148	0,6427	0,12369
3° Quartil	31	0,51613	0,7506	0,13481
4° Quartil	27	1,14074	1,81537	0,34937
Estação Meteorológica Indaial				
1° Quartil	33	1,87879	2,42071	0,42139
2° Quartil	32	1,21875	1,03906	0,18368
3° Quartil	32	1,40625	1,66287	0,29396
4° Quartil	32	2,71875	2,23223	0,39461
Estação Meteorológica de Itajaí				
1° Quartil	33	1,21212	1,21854	0,21212
2° Quartil	28	1,39286	0,95604	0,18068
3° Quartil	30	1,9	1,42272	0,25975
4° Quartil	32	2,59375	2,2981	0,40625
Estação Meteorológica de Lages				
1° Quartil	33	1,33333	1,53433	0,26709
2° Quartil	32	0,90625	1,22762	0,21702
3° Quartil	32	1,15625	1,11034	0,19628
4° Quartil	32	1,90625	1,72943	0,30572
Estação Meteorológica de São Joaquim				
1° Quartil	33	2,69697	3,36791	0,58625
2° Quartil	32	2,90625	2,92221	0,51658
3° Quartil	32	2,5	1,95101	0,34489
4° Quartil	32	4,28125	3,13394	0,55401

Apêndice I – Análise de variância para os casos de outono **

		Soma dos quadrados	Média dos quadrados	Valor de F	Valor de P
Estação Meteorológica de Joinville					
Modelo	3	10,7862980	3,59543267	3,13256	0,02849
Erro	111	127,401528	1,14776151		
Estação Meteorológica de Indaial					
Modelo	3	42,9836372	14,3278791	3,88356	0,01077
Erro	125	461,171402	3,68937121		
Estação Meteorológica de Itajaí					
Modelo	3	36,4606978	12,1535659	4,90907	0,00298
Erro	119	294,612473	2,47573507		
Estação Meteorológica de Lages					
Modelo	3	17,3359981	5,77866602	2,85519	0,03988
Erro	125	252,989583	2,02391667		
Estação Meteorológica de São Joaquim					
Modelo	3	62,7265240	20,9088413	2,48878	0,06347
Erro	125	1050,15720	8,40125758		

** O teste a posterior de Tukey está no item 6.2.2 desta dissertação.

Apêndice J – Resumo estatísticos dos casos de inverno.

Quartis da D	N	Média do V_{obs} ($m.s^{-1}$)	Desvio Padrão	Erro Padrão
Estação Meteorológica Joinville				
1° Quartil	22	0,52273	0,98219	0,2094
2° Quartil	21	0,85714	1,47735	0,32238
3° Quartil	22	0,37273	0,5248	0,11189
4° Quartil	23	0,46087	0,76796	0,16013
Estação Meteorológica Indaial				
1° Quartil	24	1	1,17954	0,24077
2° Quartil	24	0,79167	0,97709	0,19945
3° Quartil	23	1,26087	1,17618	0,24525
4° Quartil	24	1,41667	1,66594	0,34006
Estação Meteorológica de Itajaí				
1° Quartil	24	1,41667	1,24819	0,25479
2° Quartil	24	1,375	1,34528	0,2746
3° Quartil	22	1,18182	1,33225	0,28404
4° Quartil	22	2,22727	2,28727	0,48765
Estação Meteorológica de Lages				
1° Quartil	24	0,58333	0,71728	0,14641
2° Quartil	24	0,875	2,41935	0,49385
3° Quartil	23	0,91304	1,34547	0,28055
4° Quartil	23	2,25	1,89393	0,3866
Estação Meteorológica de São Joaquim				
1° Quartil	24	2,08333	2,37591	0,48498
2° Quartil	24	3,16667	3,03124	0,61875
3° Quartil	23	3,04348	2,40224	0,5009
4° Quartil	23	5,41667	3,62259	0,73946

Apêndice K – Análise de variância para os casos de inverno ^{**}

		Soma dos quadrados	Média dos quadrados	Valor de F	Valor de P
Estação Meteorológica de Joinville					
Modelo	3	2,87140246	0,957134152	0,97255	0,40969
Erro	84	82,6684839	0,984148618		
Estação Meteorológica de Indaial					
Modelo	3	5,49986651	1,83328884	1,12550	0,34301
Erro	91	148,226449	1,62886208		
Estação Meteorológica de Itajaí					
Modelo	3	14,2313900	4,74379666	1,85870	0,14246
Erro	88	224,594697	2,55221247		
Estação Meteorológica de Lages					
Modelo	3	39,8471587	13,2823862	4,49690	0,00546
Erro	91	268,784420	2,95367475		
Estação Meteorológica de São Joaquim					
Modelo	3	143,348741	47,7829138	5,64739	0,00136
Erro	91	769,956522	8,46106068		

^{**} O teste a posterior de Tukey está no item 6.2.2 desta dissertação.

Apêndice L – Resumo estatísticos dos casos de primavera.

Quartis da D	N	Média do V_{obs} ($m.s^{-1}$)	Desvio Padrão	Erro Padrão
Estação Meteorológica de Indaial				
1° Quartil	26	1,34615	1,32491	0,25984
2° Quartil	25	1,16	1,21391	0,24276
3° Quartil	25	1,32	1,06927	0,21385
4° Quartil	25	2,4	2,25462	0,45092
Estação Meteorológica de Itajaí				
1° Quartil	25	1,56	1,26095	0,25219
2° Quartil	25	1,6	1,63299	0,3266
3° Quartil	25	1,16	1,1431	0,22862
4° Quartil	25	2,92	2,94279	0,58856
Estação Meteorológica de Lages				
1° Quartil	26	1,46154	2,0829	0,40849
2° Quartil	25	1,08	1,70587	0,34117
3° Quartil	25	1,08	1,18743	0,23749
4° Quartil	25	2,04	1,30639	0,26128
Estação Meteorológica de São Joaquim				
1° Quartil	26	2,53846	2,2844	0,44801
2° Quartil	25	2,92	3,43899	0,6878
3° Quartil	25	2,88	3,20572	0,64114
4° Quartil	25	4,56	3,04248	0,6085
Estação Meteorológica de Urussanga				
1° Quartil	26	1,38462	1,13409	0,22241
2° Quartil	25	1,08	0,86217	0,17243
3° Quartil	25	1,16	0,8	0,16
4° Quartil	25	1,92	1,44106	0,28821

Apêndice M – Análise de variância para os casos de primavera **

		Soma dos quadrados	Média dos quadrados	Valor de F	Valor de P
Estação Meteorológica de Joinville					
Modelo	3	24,2658797	8,08862655	3,43091	0,02005
Erro	97	228,684615	2,35757335		
Estação Meteorológica de Indaial					
Modelo	3	44,0300000	14,6766667	4,12749	0,00846
Erro	96	341,360000	3,55583333		
Estação Meteorológica de Itajaí					
Modelo	3	15,4331150	5,14437167	1,97156	0,12332
Erro	97	253,101538	2,60929421		
Estação Meteorológica de Lages					
Modelo	3	62,1063823	20,7021274	2,27392	0,08482
Erro	97	883,101538	9,10413957		
Estação Meteorológica de Urussanga					
Modelo	3	10,7467479	3,58224930	3,01646	0,03362
Erro	97	115,193846	1,18756542		

** O teste a posterior de Tukey está no item 6.2.2 desta dissertação.